Н. В. ВИНОГРАДОВ

ОБМОТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

1969 г.

Rev. 02 11 Oct 2020

Николай Владимирович Виноградов

ОБМОТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Редактор М. В. Кобринская
Художник А. И. Шавард
Технический редактор Э. М. Чижевский
Корректор В. М. Гриднева

Седьмое издание, переработанное и дополненное. Одобрено Ученым советом Государственного комитета Совета Министров СССР по профессионально – техническому образованию в качестве учебника для профессионально – технических учебных заведений и подготовки рабочих на производстве.
Издательство "Высшая школа", Москва, 1969 г.
30000 экз. 64 к.

Учебник содержит описание конструкций основных элементов обмоток электрических машин, схемы обмоток, технологию изготовления, ремонта, а также данные по расчету. Значительное внимание в книге уделено вопросам новой техники, передовой технологии и повышения производительности труда на обмоточных работах в электромашиностроении. Настоящее, седьмое, издание дополнено главами "Типы однофазных двигателей", "Обмотки однофазных двигателей" и "Ремонт обмоток". Учебник предназначен для подготовки в профессионально – технических учебных заведениях и на производстве обмотчиков статоров, роторов и якорей электрических машин с квалификацией 2 разряда.

Со всеми замечаниями по книге просим обращаться по адресу:
Москва, К–51, Неглинная ул., 29/14, издательство "Высшая школа".

Введение.

В создании материально – технической базы коммунизма ведущую роль играет электрификация, призванная обеспечить развитие всех отраслей народного хозяйства, их электровооруженность и технический прогресс. План электрификации страны предусматривает рост количества электростанций, электрических сетей, промышленных предприятий. Особое внимание уделяется развитию электротехнической промышленности. Электромашиностроение является основной отраслью электротехнической промышленности, изготовляющей генераторы и электродвигатели для народного хозяйства. Электромашиностроительные заводы должны увеличить количество выпускаемых машин и добиться повышения их качества, что достигается разработкой новых серий электрических машин, применением более совершенных материалов и строгим соблюдением установленных технологических процессов (это особенно относится к процессам изолировки, пропитки обмоток и укладки их в пазы). Обмотка является одной из наиболее важных частей электрической машины. Надежность машин в эксплуатации в основном определяется качеством обмоток, так как в большинстве ремонтируемых электрических машин исправлениям или замене подвергаются их обмотки. К обмоткам предъявляются требования электрической и механической прочности, нагревостойкости, влагостойкости и др. Эти требования повышаются по мере развития электромашиностроения, увеличения мощности, напряжения машин, допустимой температуры нагрева обмоток.

Обмоточное производство разделяется на две области: изготовление обмоток и укладка их в пазы. Процессы изготовления обмоток отличаются высокой степенью механизации. Укладку обмоток, за исключением роторов и статоров машин малой мощности, производят вручную, применяя простейшие инструменты и приспособления.

Трудоемкость обмоточных работ составляет 20 – 40% общей трудоемкости изготовления электрических машин; она повышается с увеличением напряжения машины. Трудоемкость обмоточных работ по сравнению с трудоемкостью изготовления остальных деталей электрических машин за последние 20 – 30 лет выросла в 1,3 – 1,5 раза. Это объясняется механизацией и автоматизацией изготовления механических деталей и повышением сложности выполнения обмоток. За тот же период в области обмоточного производства произошли решающие изменения. Переход от однослойных обмоток к двухслойным, замена гильзовой изоляции непрерывной, щипаной слюды слюдинитами, применение кремнийорганической, полиэфирной и других видов изоляции, водоэмульсионных лаков, печатных обмоток, обмоток с полыми проводами, замена ленточной изоляции покрытием обмоток специальными изоляционными составами неузнаваемо изменили производственные процессы и повысили надежность обмоток в эксплуатации. Наибольшей эффективности удалось добиться путем коренного изменения технологии и конструкции обмоток.

Широкое развитие получили однофазные асинхронные двигатели. Для этих двигателей разработаны специальные типы обмоток: обмотки вразвалку с четным и нечетным числом пазов на полюс, обмотки с встроенными сопротивлениями в виде бифилярных витков, обмотки с катушками, намотанными непрерывным проводом с переворачиванием катушек перед укладкой их в пазы. Для этих обмоток широкое применение нашли полуавтоматические намоточные станки.

Дальнейшее совершенствование и развитие обмоточного производства в ближайшие годы должно идти по следующим направлениям: механизация обмоточных работ путем введения новых более производительных станков и приспособлений; разработка и внедрение полуавтоматических станков для обмотки роторов и статоров машин малой мощности массового производства; замена дорогих и дефицитных изоляционных материалов без снижения качества обмоток; экономия меди в результате большего уточнения размеров намоточных шаблонов и уменьшения длины выводных концов секций; замена меди алюминием в обмотках; замена пайки мягкими припоями твердой

пайкой и сваркой; разработка и внедрение новых изоляционных материалов; повышение коэффициента заполнения паза проводами за счет уменьшения толщины изоляции; повышение надежности обмоток в эксплуатации; разработка и внедрение новых методов контроля обмоток в процессе производства; внедрение обмоток с полыми проводами для непосредственного охлаждения; освоение и широкое внедрение обмоток с печатными схемами; механизация и автоматизация процессов пропитки обмоток. Успешно реализовать намеченные мероприятия можно лишь при совместной работе конструкторов, технологов и обмотчиков – новаторов производства. Чтобы изготовлять сложные обмотки, которые применяют в современных электрических машинах, надо не только уметь выполнять те или иные производственные процессы, но и знать теорию обмоток, их схемы, изоляцию и назначение. Успешная подготовка молодых рабочих – обмотчиков в значительной степени зависит от освоения курса специальной технологии. Цель этого, седьмого, издания учебника – дать учащимся в доступной форме знания, необходимые для выполнения электрообмоточных работ. Учебник может быть также использован для индивидуального и бригадного обучения в учебной сети промышленных предприятий рабочих следующих профессий: слесарь по выводам и обмоткам электрических машин, лудильщик – паяльщик обмоток электрических машин, изолировщик, намотчик катушек и секций электрических машин, обмотчик статоров, обмотчик по соединению секций статоров, обмотчик роторов и якорей, бандажировщик, заготовщик изоляции, пропитчик, лакировщик, растяжчик и прессовщик катушек электрических машин.

Глава I
Изоляция обмоток.
§1. Основные виды обмоток.

Обмотки электрических машин состоят из катушек. Катушкой называют комплект проводов, которому придана соответствующая форма для укладки в пазы сердечника. Катушки разделяют на мягкие, намотанные из круглого провода, и жесткие – из прямоугольного провода. Обмотки, состоящие из полувитков (стержней), называются стержневыми.

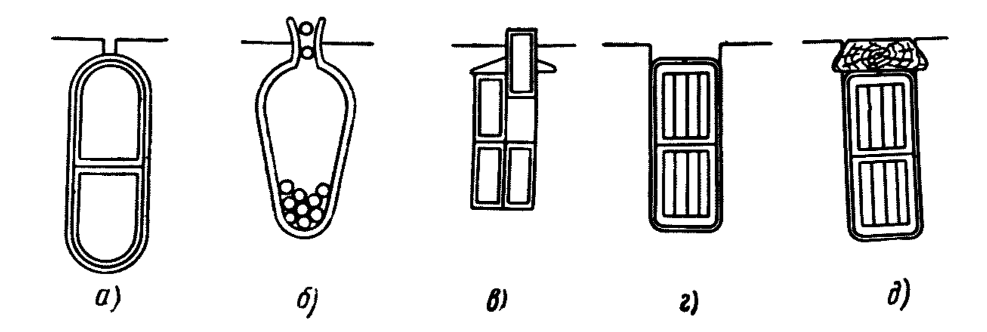


Рис. 1. Формы пазов: *а* – закрытый, *б* – полузакрытый, *в* – полуоткрытый, *г* – открытый с бандажом, *д* – открытый с клином.

С точки зрения технологии изготовления основными факторами для классификации обмоток являются число витков и сечение провода. Технология изготовления одновитковых и многовитковых обмоток совершенно различна и по производственным операциям, и по оборудованию. Способы укладки обмоток в пазы зависят от формы паза. Пазы электрических машин имеют одну из следующих форм (рис. 1): закрытый паз, в который провода вставляют с торца сердечника (рис. 1*а*); полузакрытый паз, в который провода катушки всыпают по одному через узкую прорезь паза (рис. 1*б*); полуоткрытый паз, в который вкладывают жесткие катушки, разделенные в каждом слое на две (рис. 1*в*); открытый паз, в который вкладывают жесткие катушки и удерживают их в пазах

якоря проволочными бандажами (рис.1*г*); открытый паз, в который вкладывают жесткие катушки и удерживают их в пазах якоря или статора клиньями из дерева или иного изоляционного материала (рис. 1*д*). Обмотки, в которых сторона катушки занимает весь паз, называются однослойными, а обмотки лежащие в пазах в два слоя – двухслойными.

§2. Междувитковая и корпусная изоляция.

Все провода обмотки должны быть изолированы друг от друга и от корпуса машины. В низковольтных электрических машинах роль междувитковой изоляции играет изоляция самого провода. В обмотках из голых проводов, а также в высоковольтных машинах для создания или усиления междувитковой изоляции каждый провод обматывают изоляционными материалами.

Конструкция корпусной изоляции зависит от формы паза и напряжения обмотки. Для всыпных обмоток (см. рис. 1*б*) корпусная изоляция состоит из нескольких слоев изоляционных материалов, образующих пазовую гильзу.

В стержневых обмотках ротора, вкладываемых в паз с торца сердечника (см. рис. 1*а*), пазовую часть стержня обертывают несколькими слоями изоляционного материала. Ширина полосы материала равна длине изолируемой части стержня, а длина полосы – периметру сечения стержня, умноженному на число слоев изоляции. Такая изоляция называется гильзовой.

В статорных и якорных обмотках для образования корпусной изоляции оплетают катушки или стержни по всей длине несколькими слоями изоляционной ленты. Такая изоляция называется непрерывной (см. рис. 1*в*, *г*, *д*). Для защиты корпусной изоляции в пазы вкладывают гильзы из одного слоя электрокартона в форме коробочки, верхний конец которой после укладки обмотки загибают внутрь паза. Обматывание лентой можно выполнить с разной степенью перекрытия ее слоев, зависящей от угла наклона ленты по отношению к изолируемому участку. Число слоев ленты определяется нормалями и зависит от напряжения машины и условий ее работы. Обматывание лентой в разбежку (рис. 2*а*) не создает изоляционного слоя, поэтому применяется только для стягивания витков катушки или удерживания ранее намотанных слоев изоляции. Обматывание лентой встык (рис. 2*б*) также не создает непрерывного слоя изоляции, так как в местах стыков могут быть оголенные участки катушки. Поэтому изолировку ленты встык используют для защиты лежащих под ней слоев изоляции. При обматывании лентой внахлестку (рис. 2*в*) создается основная изоляция стержня или катушки. Обматывание лентой внахлестку производят в перекрышку предыдущего витка ленты на ⅓, ½ или ⅔ ее ширины. Чаще всего применяют перекрытие на ½ ширины ленты. При этом действительная толщина изоляции получается вдвое больше расчетной. Например, если по расчету на пробой необходимо два слоя ленты, то обходят контур катушки при изолировке два раза внахлестку и с каждой стороны катушки получаются четыре слоя ленты.

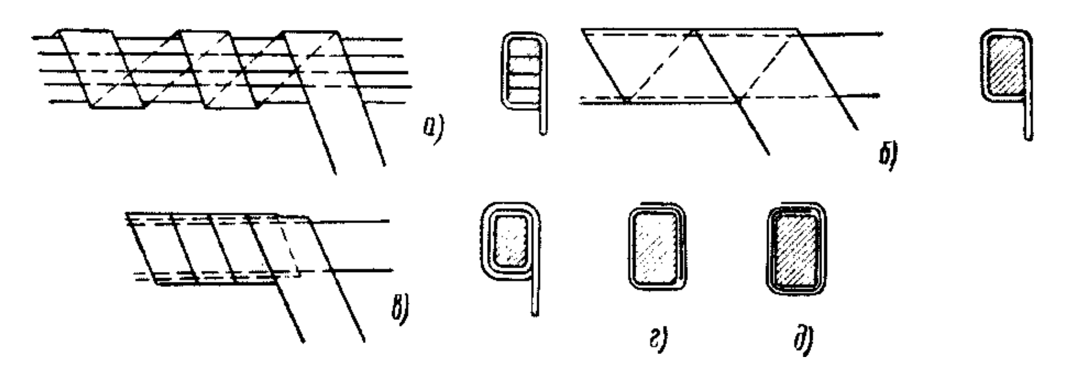


Рис. 2. Способы изолировки: *а* – в разбежку, *б* – встык, *в* – внахлестку, *г* – 1½ оборота, *д* – в 2¼, оборота.

Когда обертывают полосой изоляционного материала, ширина которой равна длине изолируемого участка, то общая толщина изоляции получается меньше, чем при изолировке лентой. Например, если по расчету достаточно одного слоя изоляции, то делают перекрытие по двум сторонам сечения (рис. 2*г*), чтобы закрепить начало полосы. При большем числе слоев можно ограничиться перекрытием по одной стороне сечения, которое не сказывается на ширине паза (рис. 2*д*).

Обертывание широкой полосой изоляционного материала значительно производительнее, чем лентой, особенно при механизированной заготовке изоляции. Но изолировать широкой полосой можно только прямолинейные участки, поэтому изолировка лентой лобовых частей обмоток сохраняется во всех электрических машинах.

Кроме витковой и корпусной изоляции катушек, в обмотках применяют целый ряд дополнительных изоляционных прокладок. К ним относятся прокладки на дно паза, между слоями обмоток, изоляция под проволочные бандажи, изоляция между слоями лобовых частей, изоляция обмоткодержателей. Эти прокладки для машин с изоляцией класса А выполняют из электрокартона, лакоткани и изоляционных пленок, а для машин с изоляцией классов B, F, H – из стеклолакоткани, микафолия, гибкого миканита, слюдинитофолия и др. При выполнении обмоточных работ приходится не только наносить изоляцию на провода, но и снимать ее в местах соединений. При использовании проводов с высокопрочной эмалевой изоляцией это довольно трудно. Обычно для этой цели служат специальные станки, в которые вставляют концы проводов. Изоляция снимается с них вращающимися проволочными щетками. Для удаления пыли станки оборудованы вытяжной вентиляцией.

§3. Резание изоляционных материалов.

Заготовка изоляционных деталей обычно производится на заготовительных участках, откуда эти детали в скомплектованном виде поступают в цех укладки обмоток в пазы. Наличие заготовительного участка способствует лучшему использованию оборудования, более экономному раскрою листовых изоляционных материалов и более точному учету расхода материалов на единицу изделия. В обмоточных цехах освобождение обмотчиков от вспомогательных операций значительно повышает производительность труда на основных операциях. Раскрой изоляционных материалов на специальных участках обеспечивает: высокую производительность труда в результате того, что прокладки нарезают в больших количествах и по определенной технологии; точность размеров, особенно для пазовых прокладок, размеры которых ограничены шириной паза; чистоту кромок, отсутствие заусенцев и вмятин.

Ручные рычажные ножницы по производительности могут удовлетворить требованиям лишь мелкосерийного производства. Их механизируют, пристраивая кривошипную передачу рычага от электродвигателя. Для резания изоляционных материалов на Рижском электромашиностроительном заводе применяют гильотинный штамп (рис. 3), установленный на 25 – тонном эксцентриковом прессе. В процессе резания материал планкой 2, прикрепленной к верхней плите 3, прижимается к столу 1. Материал подается до упора 4. Положение его регулируется в зависимости от требуемой ширины полосы, которая может достигать 700 мм. Угол наклона ножей 2°. Конструкция штампа предусматривает быструю замену ножей. Штамп удобен в работе, прост в наладке и обеспечивает хорошее качество резания.

При больших масштабах производства требуется нарезать полоски пазовой изоляции из электрокартона, миканита или электронита в массовых количествах. Для этой цели применяют ножницы с механическим приводом и автоматической подачей полосы изоляционного материала (рис. 4). Электродвигатель мощностью 1 кВт через клиноременную передачу вращает шкив – звездочку 1, которая велосипедной цепью 10 соединена с другой звездочкой 11, насаженной на конец вала 16.

На концах вала установлены кривошипы, сообщающие через шатуны 9 и тяги 5 возвратно–поступательные движения подвижному ножу 4, который передвигается в направляющих 15. Полосу режут подвижный нож 4 и неподвижный 14, привинченный к станине 3 ножниц. Валики 12 и 13 автоматически подают полосу изоляционного материала. Прерывистые вращательные движения валику 13 сообщаются от вала 16 через зубчатую передачу, тягу 8 и серьгу 7 в момент, когда подвижный нож 4 находится в верхнем положении. Для увеличения сцепления с полосой валик 13 покрыт резиной. Заготовку изоляционного материала кладут на стол 2, а нарезанные полоски падают в лоток. Во избежание несчастных случаев все зубчатые передачи закрыты щитками 6.

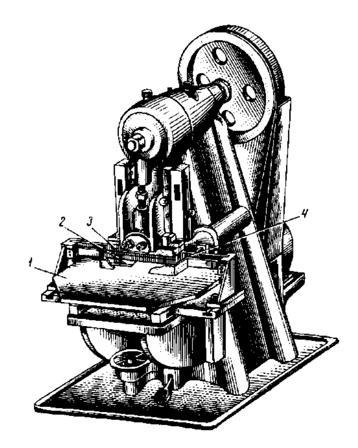


Рис. 3. Гильотинный штамп на эксцентриковом прессе.

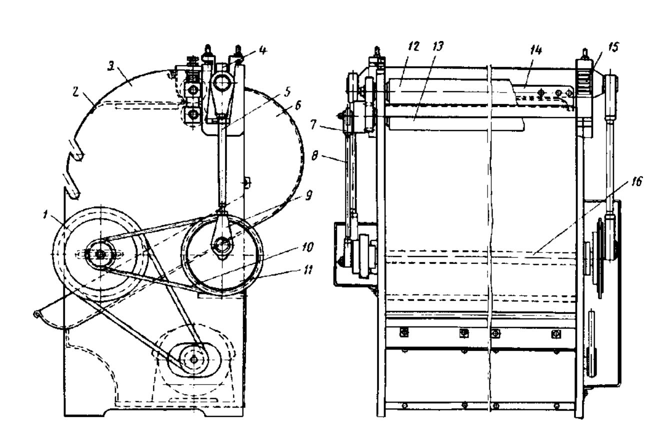


Рис. 4. Ножницы для резки изоляционных материалов.

Эти ножницы имеют высокую производительность, делая 147 двойных ходов в минуту, просты в изготовлении и наладке в работе. Внедрение их снизило трудоемкость резки изоляции на 50%. Во многих электрических машинах применяют в небольших количествах круглые детали из листового материала. Такими деталями являются изоляционные торцовые листы сердечников якоря и ротора, стальные крайние листы разных диаметров, образующие ступенчатые зубцы по торцам ротора, изоляционные прокладки между пакетами сердечника ротора. Делать для них штампы нецелесообразно из – за малого количества деталей и большого их разнообразия.
Вырезают круглые детали как из электрокартона, так и из электротехнической стали на круговых ножницах. Заготовка зажимается в центре, а режущими инструментами являются два ролика. При ручных механизмах зажима заготовки и подвода приводного ролика круговые ножницы малопроизводительны.

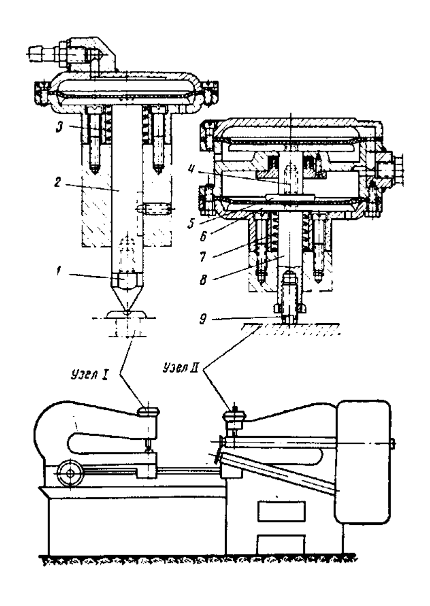


Рис. 5. Круговые ножницы с пневматическим управлением.

На рис. 5 показаны круговые ножницы с пневматическим управлением. Заготовка зажимается пневматической диафрагменной камерой (узел I) со штоком 2, на конце которого закреплен прижимной центр 1. Шток возвращается в исходное положение пружиной 3. Подвижной нож подводится и отводится с помощью второй диафрагменной камеры (узел II). Давление от диафрагмы верхней части через вспомогательный грибовидный шток 4 с диском 5, диск 6 и диафрагму нижней части передается на шток 8 с регулировочным каленым упором 9 на конце.
При заполнении камеры сжатым воздухом шток 8 перемещается и передает усилие на шпиндель подвижного ножа, который опускается и режет материал. Когда воздух удаляется из камеры, шток 8 поднимается и нож со шпинделем под действием пружины 7 возвращается в исходное положение. Управление ножницами производится одним трехпозиционным краном. Ножницы рассчитаны на резание кружков диаметром до 900 мм. Использование пневматики на круговых ножницах резко сокращает вспомогательное время и облегчает условия труда.
Если нужно прорезать отверстия, то при помощи рукоятки 11 поворачивают валик 12, имеющий эксцентриковые шейки. Резец 6 поднимается и среднюю часть заготовки вводят в зону резания. После этого при включенном двигателе постепенно опускают резец 6. Валик 12 фиксируется в верхнем и нижнем положении. При помощи вибрационных ножниц можно вырезать детали как из металлов, так и из изоляционных материалов. Во всяком производстве имеются детали, применяемые в малых количествах (одна – две на машину), для которых нерационально делать специальную технологическую оснастку. Такие детали вырезают на вибрационных ножницах (рис. 6). Электродвигатель жесткой муфтой соединен с головкой 1 шатуна 2, являющейся эксцентриком. Вторая головка 3 шатуна шарнирно соединена с системой ломающихся рычагов 4, передающих колебания на шток 5. На конце его в цанге закреплен резец 6. Весь вибрирующий механизм помещен в коробку, в которую подается смазка шестеренчатым насосом. Шток с резцом совершает 1410 двойных ходов в минуту. На нижней части станины 10 установлен нижний резцедержатель 7 с закрепленным в нем резцом. При помощи маховичка можно регулировать зазор между резцами в зависимости от толщины вырезаемого материала. Угол раствора резцов 28°, а угол заточки 14°, что обеспечивает втягивание материала в зону резания. Для вырезки круглых деталей заготовку устанавливают на центр 8 и поджимают винтом 9. Одновременно заменяют ножи, что не занимает много времени.
Такие изоляционные материалы, как микалента, стеклолента, лакоткань, поступают в виде рулонов и разрезаются на ленты требуемой ширины на роликовых ножницах (рис. 7). Режущие валки 4 и 6 состоят из дисковых ножей, которые набраны с промежуточными втулками на валики. Ширина ножей равна ширине разрезаемых лент. Валки вращаются в подшипниках стойки 3 и сжимаются болтом 5. Нижний валок приводится во вращение от электродвигателя 8 через шестеренчатый редуктор 1 клиновым ремнем 11. Разрезаемый рулон изоляционного материала надевают на свободно вращающуюся оправку 9, опирающуюся на подшипники стойки 7.
Полоса разрезаемого материала через направляющий ролик и решетку 10 подается к режущим валкам. Разрезанные ленты наматываются на приемные валки стойки 2, состоящие из текстолитовых втулок 14 и перегородок 13. Когда приемные валки заполняются лентой, их снимают и ставят новые. Разбирают приемные валки вне станка. Вращение нижнему приемному валку сообщается от редуктора через роликовую цепь 12. Между собой приемные валки также соединены роликовой цепью. Для удаления выделяемой при резании пыли станок снабжен отсасывающей вентиляцией. Роликовые ножницы обладают высокой производительностью, и работать на них легко. Для лучшего облегания обмоток лента из лакоткани должна быть нарезана так, чтобы основа ткани была расположена под углом к кромке ленты. Поэтому обычно кусок лакоткани разрезали на ленты в диагональном направлении, что препятствовало внедрению механизации и создавало большие отходы в углах куска.

В настоящее время вырабатывают лакоткани, у которых основа расположена под углом к кромке куска, что позволяет механизировать резание и исключить отходы материала.

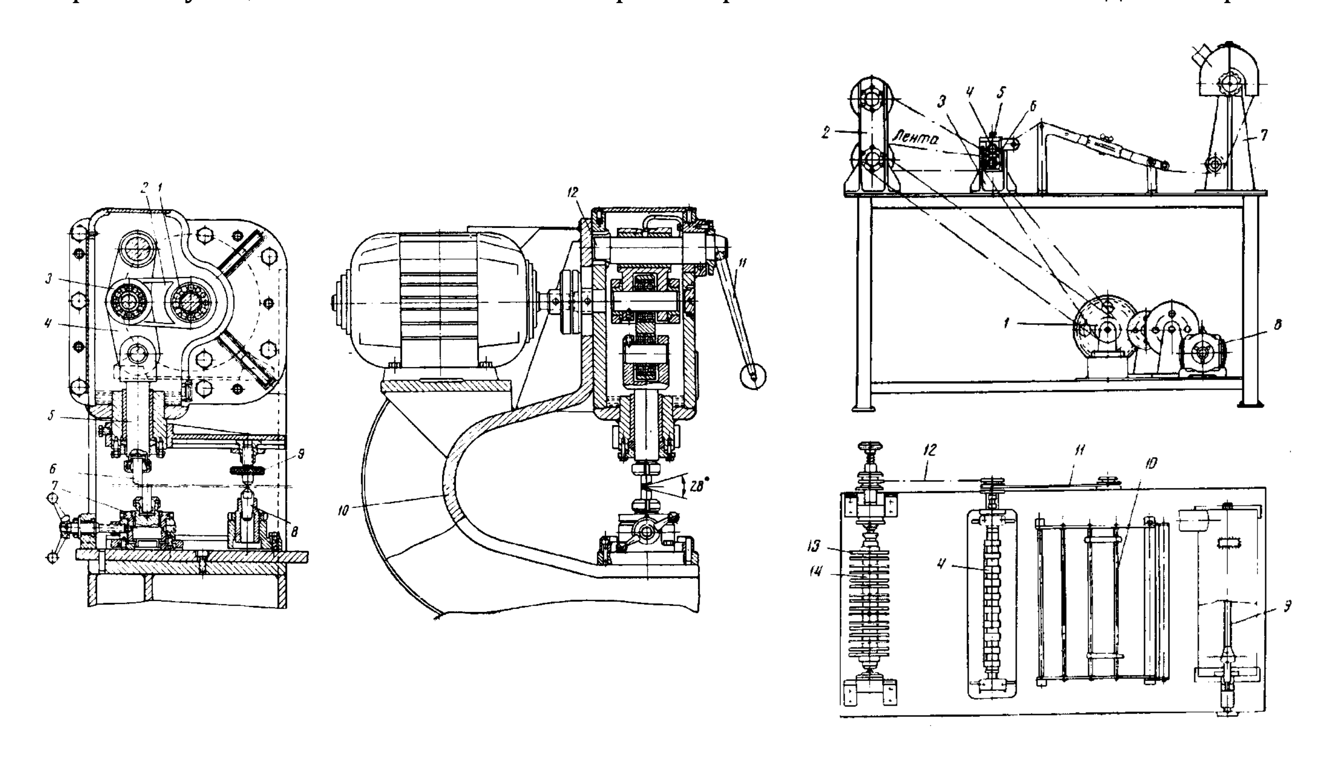


Рис. 6. Вибрационные ножницы. Рис. 7. Роликовые ножницы.

§4. Изолировка пазов.

Заготовки для пазовых гильз, нарезанные на ножницах, нельзя сразу вставлять в пазы сердечника, так как они не будут облегать весь контур паза и углы его не будут заполнены проводами. Поэтому гильзы подвергают предварительной формовке, при которой их изгибают в штампах по линиям, приходящимся против углов паза. В некоторых машинах для предохранения гильз от разрывов их при этом отбортовывают в местах выхода из паза.

Для повышения производительности гибку гильз объединяют с процессом резания заготовок, таким образом, из предварительно нарезанных полос электрокартона получают готовые гильзы, которые вручную вставляют в пазы.

При массовом производстве машин применяют полуавтоматические станки, в которые вставляют сердечник статора или ротора и заправляют ролик электрокартона, предварительно нарезанный на роликовых ножницах. Все остальные операции станок выполняет по автоматическому циклу и выдает готовый к обмотке изолированный сердечник. На рис. 8 показана кинематическая схема изолировочного полуавтомата, спроектированного Всесоюзным научно – исследовательским институтом технологии электромашино – и аппаратостроения (ВНИИТэлектромаш). Он предназначен для изолировки пазов статора асинхронных электродвигателей единой серии 3 и 4 габаритов. Для изолировки статоров других размеров полуавтомат снабжен сменными головками. Лента 2 изоляционного материала поступает с рулонов 1. Ширина рулона равна длине сердечника статора плюс четырехкратная длина прямолинейного выступа ленты из паза. Края ленты, выступающие из паза, получают отбортовку 3 для увеличения механической прочности пазовых гильз. Затем ножами 7 от ленты отрезается заготовка гильзы 4, длина которой равна развернутой ширине пазовой гильзы. Подача и отбортовка ленты осуществляется профилированными роликами 6.

Заготовка гильзы 4 пуансоном формовочного штампа 8 вдвигается в канал матрицы, где из нее выгибается гильза 5, которая механизмом 11 вдвигается в паз статора 10, установленного на стакане головки 9.

Головка периодически поворачивается на одно пазовое деление, поочередно переводя в зону канала матрицы все пазы статора. После окончания изолировки пазов станок автоматически останавливается. Производительность полуавтомата – 100 пазов в минуту.

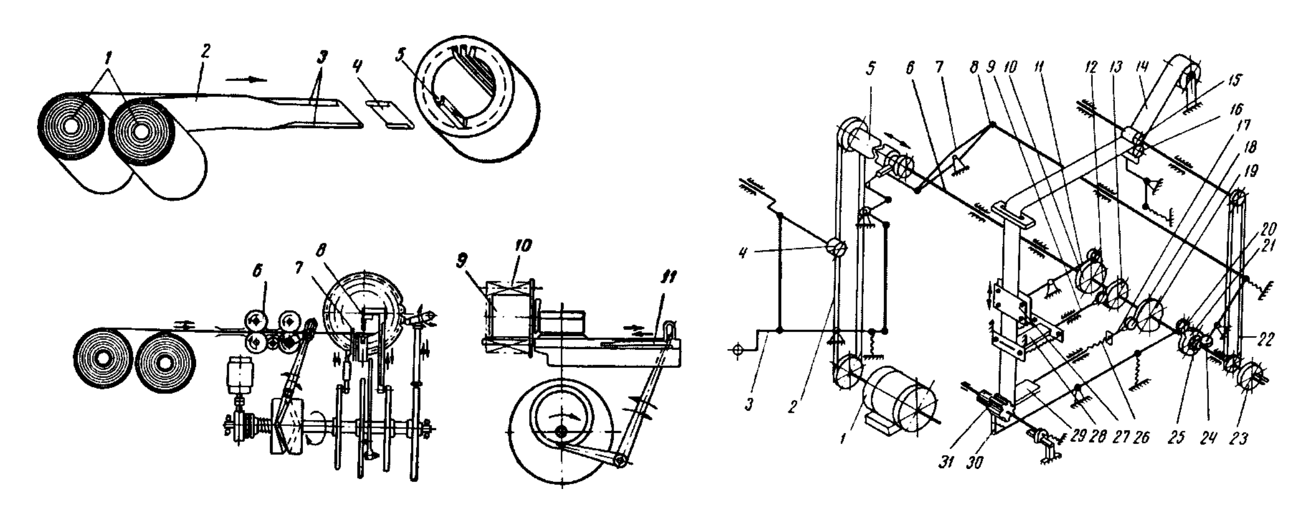


Рис. 8. Кинематическая схема станка для изолировки пазов статора.

Рис. 9. Кинематическая схема станка для изолировки пазов якоря.

Пазы якоря изолируют на полуавтоматических станках, повышающих производительность труда в 5 – 6 раз. Для якорей малых диаметров с тонкими зубцами изолировку производят непрерывной лентой, которая огибает контуры пазов и коронки зубцов. Это исключает попадание проводов между пазовой гильзой и стенкой паза. После обмотки якоря изоляцию на зубцах разрезают, и края гильз загибают в пазы. При широких коронках зубцов якоря изолировка непрерывной лентой приводит к большому расходу изоляции, поэтому каждый паз изолируют отдельной гильзой, края которой выступают из паза на 3 – 4 мм.

На рис. 9 показана кинематическая схема изолировочного станка типа 004 "Электрозавода". Привод станка осуществляется от электродвигателя 1 через ременную передачу 2 с натяжным роликом 4 и муфту сцепления 5 на вал с четырьмя кулачками. При наладке станка муфту 5 расцепляют педалью 3, а вал 6 поворачивают маховичком 23. Кроме того, муфта 5 имеет автоматическое управление через тягу 8 и кулису 7 для остановки станка после изолировки всех пазов якоря 31. Лента 14 электрокартона подается к якорю с рулона роликами 15 и 16, которые связаны с валом 6 клиноременной передачей 22. Кулачок 10 через тягу 11 с роликом на конце управляет механизмом 27 зажима и подачи ленты. Вслед за ним кулачок 19 через тягу 17 с роликом 18 вводит в паз пуансон 29, который расправляет и прижимает ленту к стенкам паза. Пружина 26 возвращает пуансон в исходное положение. После этого кулачок 13 через тягу 9 с роликом 12 приводит в действие нож 28, перерезающий ленту. Якорь 31 поворачивается на одно зубцовое деление собачкой 30, приводимой в действие тягой с роликом 20 от звездочки 21, имеющей число впадин, равное числу пазов якоря. После изолировки всех пазов кулачок 25 нажимает на ролик 24, который через тягу 8 и кулису 7 расцепляет муфту 5 и останавливает станок.

§5. Техника безопасности в обмоточных цехах.

Обмоточное производство состоит из различных участков, на которых производят такие операции, как намотку катушек, гибку стержней, изолировку обмоток, сушку и пропитку их, укладку в пазы, паяние, бандажировку, отделку якорей и электрические испытания. На каждом из этих участков должны соблюдаться соответствующие правила техники безопасности.

При работе на станках: к самостоятельной работе на станках можно допускать только обученных рабочих, получивших соответствующую квалификацию; вращающиеся части станков (зубчатые колеса, шкивы) надо ограждать специальными щитами, кожухами или решетками; у работающих на станках женщин голова должна быть повязана косынкой, чтобы волосы не могли попасть во вращающиеся части станка; рукава необходимо плотно завязывать тесемками у кисти руки; при намотке катушек и бандажей надо остерегаться, чтобы пальцы не попали под наматываемую проволоку; при работе на быстроходных намоточных станках следует пользоваться защитным стеклом или предохранительными очками, так как при обрыве провода конец его может повредить глаза; при бандажировке надо прочно установить ротор в центрах и надежно запереть заднюю бабку станка, так как сильное натяжение бандажной проволоки может вырвать ротор из центров и сбросить его на ноги работающему; при работе на изолировочных станках следует остерегаться попадания рук в зону вращающейся изолировочной головки; проточку и продороживание коллектора необходимо выполнять в защитных очках, чтобы защитить глаза от попадания в них стружек.
На слесарном участке: верстачные тиски должны быть установлены так, чтобы рабочий мог занимать правильное положение во время работы; пользоваться можно только исправными инструментами; при заточке инструментов на точильном камне необходимо защищать глаза от летящих искр защитным стеклом или очками; работая на рычажных ножницах, надо поддерживать разрезаемый материал прижимной планкой, а не рукой; при составлении оловянно – свинцовых припоев следует выполнять все требования промышленной санитарии, так как пары свинца являются сильными ядами; работая на эксцентриковых прессах, нельзя подносить руки близко к движущимся деталям штампа; вкладывать под штамп заготовки или детали надо при помощи соответствующих инструментов; помещение, в котором производят паяние, должно иметь вытяжную вентиляцию (общую или местную) для удаления выделяющихся при паянии газов; при пользовании электродуговым паяльником следует надевать очки с цветными стеклами для защиты глаз от светового действия электрической дуги; при работе с механизмами с пневматическим приводом необходимо остерегаться попадания пальцев в зону действия зажимных устройств.
На обмоточных участках: стропление и подъем обматываемых сердечников должны производиться рабочими, имеющими соответствующую квалификацию; запрещается стоять под поднимаемыми и висящими грузами; при подъеме грузов не допускается быстрый отрыв их от пола и волочение по полу; разрешается пользоваться только проверенными грузоподъемными механизмами и устройствами; до начала подъема груза надо убедиться, что его вес не превышает грузоподъемности механизма; укладывая обмотки в пазы, следует правильно держать рабочие инструменты; при резке изоляции ножом необходимо остерегаться поранить руку; роликовые опоры, на которых устанавливают роторы при обмотке, должны легко вращаться; оси их надо смазывать; в случае применения бензиновых ламп должны быть приняты меры предосторожности против случайных вспышек бензина; при паянии следует остерегаться ожога рук. При обмотке крупных машин, когда обмотчик работает внутри сердечника, необходимо пользоваться лампами местного освещения напряжением 12 вольт. При пользовании электроинструментами надо проявлять особую осторожность, так как опасность поражения электрическим током при этом значительно повышается; при пользовании ваннами для паяния якорей и роторов необходимо следить за тем, чтобы брызгами расплавленного припоя не вызвать ожога рук и лица.
На пропиточных участках: смешивать и растворять лаки надо с точным соблюдением инструкций; работники пропиточной мастерской должны соблюдать правила гигиены, предписанные при обращении с едкими растворителями; мыть руки следует горячей водой с мылом, а не бензином, от которого кожа рук обезжиривается и становится восприимчивой к различным кожным заболеваниям.

Контрольные вопросы.
1. Какие формы пазов вы знаете?
2. Что представляет собой междувитковая изоляция?
3. Из чего состоит корпусная изоляция?
4. Какие существуют способы оплетения катушек изоляционными лентами?
5. Чем отличается гильзовая изоляция от непрерывной?
6. Какие достоинства имеет централизованная заготовка изоляции?
7. На чем основан принцип устройства круговых ножниц?
8. Для каких деталей применяют вибрационные ножницы?
9. Какой принцип положен в основу устройства станков для изолировки пазов?
10. Какие меры предосторожности надо принимать при работе на станках?

Глава II
Катушки из круглого провода.
§6. Мягкие катушки статора.

В старых типах асинхронных двигателей всыпные обмотки применяли только для машин мощностью до 10 кВт. В единых сериях асинхронных двигателей А; АО; А2 и АО2 впервые в практике электромашиностроения всыпные обмотки статора применили для машин мощностью до 100 кВт. В связи с этим освоена намотка катушек с числом параллельных проводов до 12. Такие катушки наматывают сразу пучком проводов с нескольких барабанов. В статорных обмотках часть катушек, лежащих в соседних пазах, соединяют между собой последовательно. Эти катушки образуют катушечную группу. При намотке катушек обычно катушечную группу наматывают, не обрывая провода. Благодаря этому после укладки в пазы не нужно соединять катушки одной катушечной группы между собой, что упрощает монтаж схемы обмотки и исключает возможность перепутывания выводных концов катушек. Для намотки катушечной группы намоточный шаблон должен иметь несколько желобков, в которых размещаются витки катушки.
В машинах малой мощности стремятся к дальнейшему упрощению соединений на статоре, наматывая всю фазу, состоящую из нескольких катушечных групп, одним непрерывным проводом. После укладки в пазы такая обмотка будет иметь только шесть выводных проводов, представляющих собой начала и концы трех фаз. Следовательно, совершенно отпадает процесс соединения катушечных групп. Намоточные шаблоны для всыпных обмоток выполняют из твердых пород дерева или из алюминия. При конструировании шаблонов обращают особое внимание на то, чтобы отпирание шаблона и съем намотанной катушки производились с минимальными затратами труда и времени.
Раньше в процессе намотки катушки намотчик вел счет витков по оборотам шаблона. Это очень утомляло намотчика, ограничивало скорость вращения станка и не исключало ошибок. Поэтому приходилось вводить контрольную операцию проверки числа витков. Современные намоточные станки имеют автоматические счетчики оборотов, останавливающие станок после намотки требуемого числа витков. Настраивают станок на данное число витков посредством сменных шестерен в механизме счетчика.
На рис. 10 показана кинематическая схема намоточного станка завода "ХЭМЗ". Станок имеет полый шпиндель, приводимый во вращение электродвигателем 9 через ременную передачу 1. Рядом с передачей на шпиндель насажен шкив 2 ленточного тормоза, который тягой 10 соединен с педалью 8 включения станка. Таким образом, при остановке станка шпиндель автоматически затормаживается, предупреждая ослабление натяжения провода.

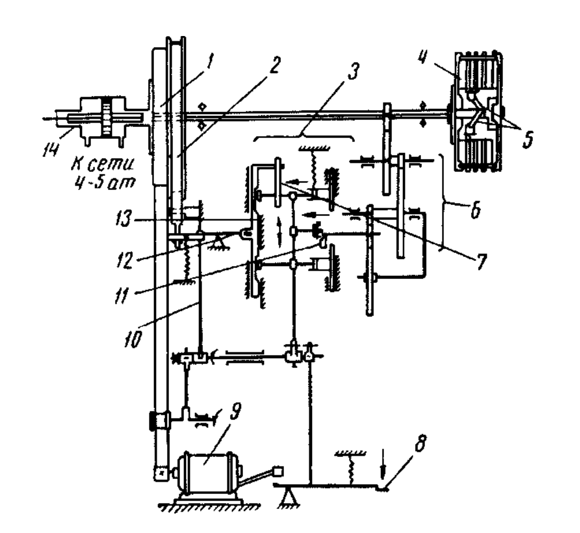


Рис. 10. Кинематическая схема намоточного станка.

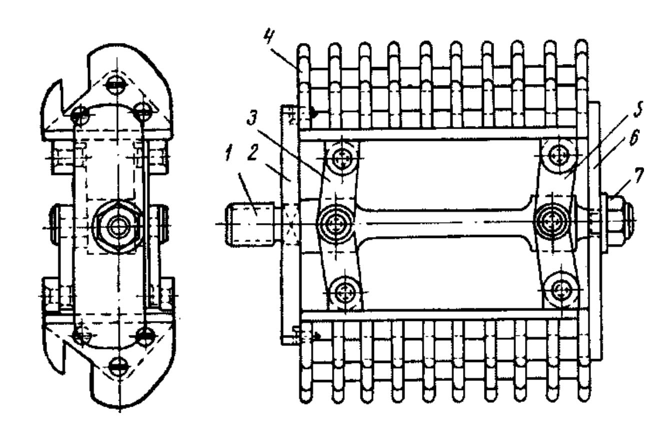


Рис. 11. Шарнирный намоточный шаблон.

Через шпиндель и систему зубчатых колес 6 электродвигатель вращает механизм 3 автоматической остановки станка после намотки требуемого числа витков, которое может быть установлено в пределах от 4 до 25. Станок останавливается под действием кулачка 11 на зуб 7 механизма зацепления 13. При этом освобождается тяга 10 и, двигаясь вверх, увлекает за собой рычаг 12. Для съема намотанной катушечной группы станок оборудован пневматическим цилиндром 14, который тягой, проходящей через полый шпиндель, связан с шарнирным механизмом 5 намоточного шаблона 4. При этом головки шаблона сдвигаются к центру, и катушечная группа легко снимается с шаблона. Для намотки следующей группы надо снова развести головки шаблона поворотом воздушного крана.

При отсутствии отверстия в шпинделе намоточного станка применяют шарнирный шаблон с ручным механизмом отпирания (рис. 11). Он особенно удобен для катушечных групп с большим числом катушек, когда шаблоны становятся очень тяжелыми. Оправку шаблона ввертывают в резьбовое отверстие в шпинделе. Это в несколько раз уменьшает время на установку шаблона по сравнению с креплением его к шпинделю болтами.

Перед намоткой катушечной группы конец обмоточного провода закрепляют за оправку 1. Затем наматывают первую катушку, прокладывая шпагат для связывания витков в канавки шаблона. После намотки первой катушки через прорези в шаблоне переводят провод в следующий желобок. После намотки всей катушечной группы намотчик отвинчивает гайку 7 примерно на один оборот и снимает планку 6, имеющую открытую прорезь. При повороте планок 3 и 5 вокруг осей головки 4 сходятся к центру, освобождая катушки группы. Для намотки следующей катушечной группы шаблон отжимают обратно до упорной планки 2, надевают планку 6 и зажимают ее гайкой 7.

При намотке катушечных групп обмоток статора из круглого провода для перевода провода из одного желобка намоточного шаблона в другой приходится останавливать или замедлять ход станка, что снижает его производительность. Ранее перевод провода производили при помощи винтовых секционных раскладчиков, приводимых вручную.

На заводе им. Владимира Ильича разработано пневматическое устройство для автоматической раскладки провода по желобкам намоточного шаблона (рис. 12). Устройство состоит из пневматического цилиндра двойного действия и электромагнитного исполнительного механизма, которые крепятся к станине намоточного станка.

К концу штока пневматического цилиндра 15 привинчена сменная зубчатая рейка 13. Чтобы рейка не смещалась в сторону, в ее паз 18 вставлен штифт 19 исполнительного механизма. Рабочий ход рейки происходит при подаче сжатого воздуха в штуцер 17. Скорость хода рейки регулируется винтом 16, перекрывающим впускное отверстие.

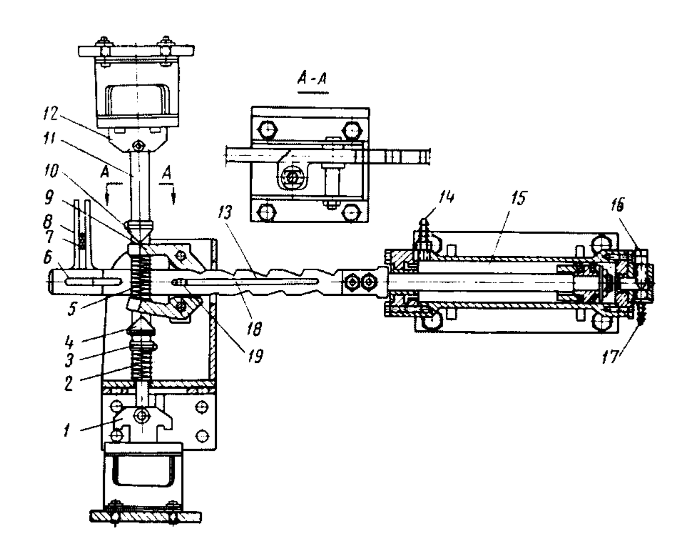


Рис. 12. Пневматическое устройство для автоматической раскладки провода.

При подаче воздуха в штуцер 14 рейка возвращается в первоначальное положение (при холостом ходе намоточного станка). Шаг между зубьями рейки равен расстоянию между желобками намоточного шаблона. В пазы рейки поочередно упираются собачки 9, прижимаемые к ней пружиной 5, свободно надетой на тягу 11, соединенную с электромагнитами 1 и 12. Электромагниты нажимают поочередно на собачки остриями 4 и 10. Пружина 2 уравновешивает тяговую систему электромагнитов. Усилие пружины регулируется кольцом 3. На конце рейки 13 насажено на шпонке 6 водило 8 вилочного типа, переводящее провод 7 из одного желобка намоточного шаблона в другой. Питание к электромагнитам подается кулачковым аппаратом, работающим от привода главного движения намоточного станка. Электроимпульс на останов станка подается счетчиком после намотки всей катушечной группы. Одновременно электроимпульс получает электромагнитный клапан, через который воздух поступает в штуцер 14, и рейка возвращается в исходное положение.

В обмотках с мягкими катушками при большом числе проводов в пазу заполнение паза определяется толщиной витковой изоляции. Снижение толщины изоляции позволяет увеличить объем меди в пазу и соответственно повысить мощность машины. Ввиду недостаточной надежности проводов с эмалевой изоляцией приходилось в широких пределах применять обмоточный провод ПЭЛБО с комбинированной эмалево – волокнистой изоляцией. Применение проводов с высокопрочной эмалевой изоляцией позволило увеличить количество проводов в пазу. Хорошие результаты дало использование провода ПЭВТЛ – 2 с эмалевой изоляцией (класс нагревостойкости Е), обладающего прочностью и влагостойкостью.

На некоторых заводах медные провода заменяют алюминиевыми. Электропроводность алюминия в 1,63 раза меньше электропроводности меди, поэтому при том же токе статора приходится увеличивать сечение провода во столько же раз. Если до замены провода статор обматывался медным проводом ПЭЛБО, то в двигателях малой мощности его заменяют алюминиевым проводом ПЭЛРА – 2. Меньшая толщина изоляции алюминиевого провода позволяет увеличить диаметр голого провода и сохранить ту же мощность двигателя.

Перед укладкой катушек вкладывают в пазы гильзы, которые защищают изоляцию катушек от механических повреждений. Во всыпных обмотках пазовые гильзы одновременно изолируют обмотку от корпуса. Пазовая изоляция представляет собой однослойную или многослойную U – образную скобочку, материал которой подбирают в зависимости от класса нагревостойкости. Для класса А применяют электрокартон и лакоткань, для класса В – гибкий миканит или стеклолакоткань. При полузакрытых пазах пазовая гильза должна быть достаточно жесткой, чтобы не сминаться проводами обмотки при укладке их в пазы.

В статорных всыпных обмотках в течение многих лет применяли трехслойную пазовую гильзу, состоящую из двух полосок электрокартона 1 и 3 и одной полоски лакоткани 2 между ними (рис. 13*а*). Между слоями обмотки в пазах и под деревянный клин 5 ставят прокладки 4 в виде согнутых коробочек.

Внешняя полоска электрокартона защищала лакоткань от повреждений стенками паза, внутренняя – от смятия проводами обмотки, а изоляцию проводов – от повреждения коронками зубцов. Поэтому внутренняя полоска имела большую ширину, края ее выступали из паза и их приходилось срезать после укладки обмотки в пазы. Однако и после срезания краев эта полоска была более широкой, чем другие, поэтому при заклинивании пазов она образовывала складки внутри паза, снижающие коэффициент заполнения паза медью. Для устранения этого затруднения все три полоски нарезают одинаковой ширины, а в процессе укладки обмотки в паз вставляют дополнительные вкладыши 6 из фибры или электрокартона (рис. 13*б*). После укладки всех проводов в паз вкладыши вытаскивают и вставляют в следующий паз. Общая толщина трехслойной гильзы получается 0,6 – 0,65 мм. В машинах малой мощности такая гильза вместе с воздушными прослойками между полосками занимает до 30% площади паза. Кроме того, воздушные прослойки резко снижают теплопроводность пазовой изоляции, что повышает нагрев обмотки.

Толщину пазовой изоляции удалось значительно снизить путем замены составной гильзы пленкоэлектрокартоном, представляющим собой полоску картона толщиной 0,15 мм, оклеенную триацетатной пленкой толщиной 0,05 мм. В новой серии асинхронных двигателей 2 – 5 габаритов применяют пазовую изоляцию, состоящую из лавсана толщиной 0,05 мм. в сочетании с электрокартоном ЭВ толщиной 0,15 – 0,2 мм.

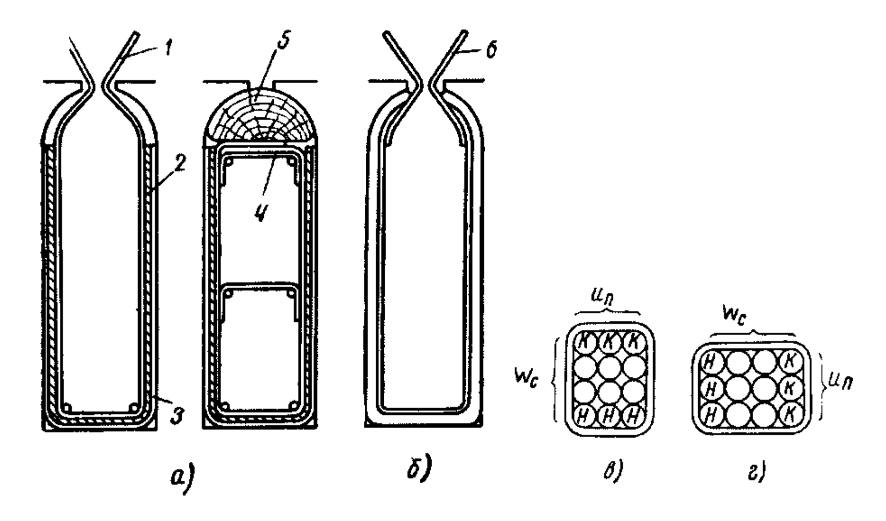


Рис. 13. Расположение проводов в пазах статора (*а*, *б*) и якоря (*в*, *г*).

Нажимные шайбы статора изолируют несколькими полосками электрокартона. Толщину и количество их подбирают так, чтобы они доходили до дна паза и служили опорой для выступающих из паза концов пазовых гильз, предохраняя их от разрывов при отгибании лобовых частей обмотки.

Анализ пробоев изоляции электрических машин с гильзовой изоляцией показывает, что слабым местом является выход гильзы из паза. Поэтому применяют и другие способы защиты гильз от разрывов, в частности: опиливание граней зубцов перед укладкой обмотки; укрепление выступающих из пазов концов гильз путем отбортовки (см. рис. 8); надевание на выступающие концы гильз штампованной из фибры гребенки.

Между лобовыми частями катушек всыпной обмотки, составляющих катушечную группу, вполне достаточной является витковая изоляция проводов. Но между катушечными группами ставят специальные прокладки из такого же материала, что и пазовые гильзы. Это объясняется тем, что соседние катушечные группы принадлежат к разным фазам и между ними действует линейное напряжение.

§7. Мягкие катушки якоря.

В машинах постоянного тока мощностью до 1 кВт провод укладывают непосредственно в пазы якоря, поэтому процесса намотки катушек нет. Это значительно уменьшает длину лобовых частей, особенно в двухполюсных машинах. Такие обмотки якоря называются ручными; они рассматриваются в §73. Всыпные катушечные обмотки якоря применяют в машинах с полузакрытыми пазами мощностью примерно до 15 кВт.
В машинах большей мощности якоря имеют открытые пазы, в которых вкладывают двухслойные обмотки, состоящие из формованных изолированных катушек. Процесс изготовления таких катушек значительно отличается от изготовления всыпных обмоток. При диаметре обмоточного провода более 1 мм. катушки наматывают правильными рядами, а не врассыпную, как в катушках всыпных обмоток. Поэтому сечение катушки представляет собой прямоугольник со скругленными углами. Обычно якорная катушка состоит из нескольких секций, число которых определяется отношением числа коллекторных пластин к числу пазов.
Секцией называется часть катушки, заключенная между двумя коллекторными пластинами. Но число коллекторных пластин всегда больше числа пазов, поэтому в катушке несколько секций. Число секций в катушке обозначается $u_п$. При намотке катушки шаблон делает несколько оборотов в зависимости от числа витков в секции, обозначаемого $w_с$. Таким образом, число проводов в сечении катушки равно произведению числа секций в катушке на число витков в секции. Намотку катушки ведут сразу с нескольких барабанов по числу секций в ней. Поэтому перед намоткой бухту медного провода сначала перематывают на пустые барабаны. У формованной якорной катушки провода на шаблоне, располагаются так же, как в пазу якоря. Поэтому для удобства намотки секции в пазу должны располагаться по ширине паза, а витки катушки – по глубине паза. Это показано на рис. 13*в* для катушки, имеющей три секции и четыре витка. Буквами *Н* обозначены начала секций, а буквами *К* – их концы. При расположении проводов в пазу и на шаблоне, показанном на рис. 13*в*, намотку ведут с трех барабанов, и шаблон делает четыре оборота. На рис. 13*г* изображено другое расположение проводов в пазу, при котором секции размещены по глубине паза, а витки – по ширине. Очевидно, что при таком положении проводов катушку нельзя наматывать сразу тремя проводами, а приходится наматывать одним проводом в три приема: сначала нижний ряд, потом средний и, наконец, верхний. При этом время намотки возрастает более чем в три раза. Кроме того, усложняется процесс подвода проводов к пластинам коллектора. Если катушка должна быть намотана в два параллельных провода, то число проводов в сечении катушки, а следовательно, и число барабанов удваивается. Обычно параллельные провода секции в пазу и на шаблоне располагаются один над другим.
Якорные катушки имеют небольшое число витков (от 2 до 6), и машины постоянного тока выпускаются в значительно меньших количествах, чем асинхронные двигатели. Поэтому для намотки катушек якоря используют простые станки, относящиеся к так называемому нестандартному оборудованию, изготовляемому силами электромашиностроительного завода.
В процессе намотки катушки станок должен преодолевать усилие торможения провода, необходимое для плотного облегания контура шаблона, и обеспечивать плавный пуск и быструю остановку. Качество намотки зависит от равномерного натяжения всех проводов. Натяжение проводов создают посредством огибания ими направляющих роликов, а соответствующую форму придают пучку проводов, пропуская их через прямоугольное отверстие в фибровой плашке.
Шаблон для якорных формованных катушек имеет вытянутую форму, называемую "лодочкой" (см. рис. 27). Размеры сердечника шаблона можно получить только расчетным путем. Шаблоны для якорных формованных катушек требуют значительно большей точности изготовления, чем для статорных всыпных катушек.

Если длина лобовых частей будет недостаточной, то катушки не уложатся на обмоткодержателях; при излишней длине лобовых частей обмотка может задевать за вентилятор или петушки коллекторных пластин.
Практикуемый способ подгонки размеров шаблона посредством нескольких проб с проверкой укладки катушек на якоре занимает много времени, кроме того, такой способ не позволяет наматывать катушки до изготовления сердечника якоря. Процесс подгонки шаблонов обычно не доводят до конца, заканчивая его при достижении более или менее удовлетворительных результатов. Намоточные шаблона делают из стали, так как в процессе намотки приходится подбивать провода к шаблону. К одному из узких концов шаблона приваривают планку с ввернутым болтом, за который закрепляют провода перед началом намотки. Длина планки должна быть равна длине развернутой лобовой части катушки с учетом длины концов, впаиваемых в петушки коллектора. После снятия с шаблона прямолинейные стороны катушки скрепляют скобочками из жести, чтобы провода не рассыпались.
Заготовка катушки, снятая с намоточного шаблона, имеет плоскую форму; пазовые ее части расположены на расстоянии ширины шаблона. Для укладки в пазы якоря стороны катушки должны быть расположены в двух плоскостях и удалены одна от другой на расстояние шага обмотки. Поэтому катушку после намотки растягивают на специальном растяжном станке. Эти станки, долгое время работавшие с ручным приводом, в настоящее время на всех заводах механизированы. Применены пневматические цилиндры, что значительно повысило производительность труда. Существуют два вида растяжки катушек – параллельная и радиальная. Для катушек якоря чаще применяют параллельную растяжку.
На рис. 14 показана конструкция станка для параллельной растяжки катушек в положении конца растяжки. Головки катушки вкладывают в головные кулачки 7 и 12, а пазовые части – в пазы 17 и 13, в которых они зажимаются действием пневматических цилиндриков 6 и 8, управляемых краном 10. Привод растяжки осуществляется пневматическим цилиндром 1 двойного действия, которым управляют краном 9. Средняя часть поршня 2 выполнена в виде зубчатой рейки, сцепленной с зубчатым колесом 3. К ободу колеса шарнирно прикреплены рычаги 4 и 5. Рычаг 4 сообщает поступательное движение пазу 13 с вложенной в него стороной катушки, а рычаг 5 – пазу 11, разводя стороны катушки до упоров в столе станка. После растяжки освобождают пазовые части катушки краном 10 и вынимают растянутую катушку из станка. Пазовые зажимы снова сводят в исходное положение и вкладывают в них следующую заготовку. У катушки, снятой с растяжного станка, пазовые части лежат в параллельных плоскостях. На якоре они должны быть расположены под углом между пазами якоря. Поэтому лобовые части выгибают в специальных гибочных приспособлениях под пневматическим прессом (рис. 15).
В гибочном шаблоне рядом расположены два желобка 1 и 2 для лобовых частей верхней и нижней сторон катушки. После выгибания лобовых частей катушка получает окончательную форму и поступает в изолировку. В зависимости от конструкции обмотки изоляция катушки может быть гильзовой или непрерывной. В обоих случаях лобовые части катушки оплетают лентами. При непрерывной изоляции верхний защитный слой ленты в пазовых частях наматывают встык, а в лобовых – внахлестку.
Для изолировки катушек лентами вручную применяют изолировочные тиски. Они отличаются от слесарных тем, что зажим катушки производится пружинами и поэтому не требует дополнительного времени. Кроме того, сжимающее усилие в них регулируется и исключается опасность повреждения изоляции.
На рис. 16 показано устройство изолировочных тисков завода "Динамо" с параллельным раствором губок и регулируемым усилием сжатия. Изолируемая катушка зажимается между неподвижной губкой 5 и подвижной 6, которые приварены к двум цилиндрам 4 и 3. Губки сжимаются двумя пружинами, помещенными в цилиндре 3.

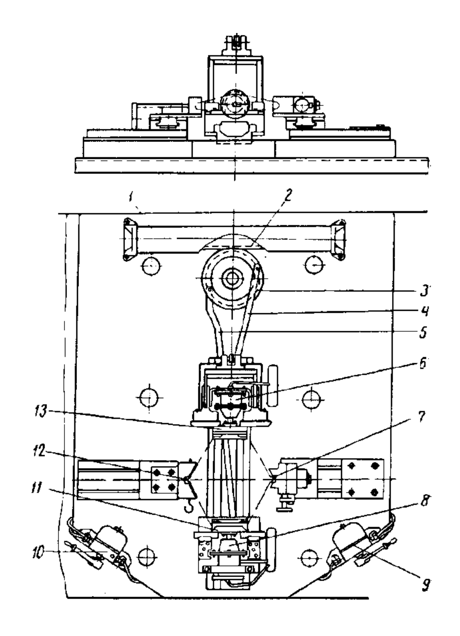


Рис. 14. Станок для параллельной растяжки катушек.

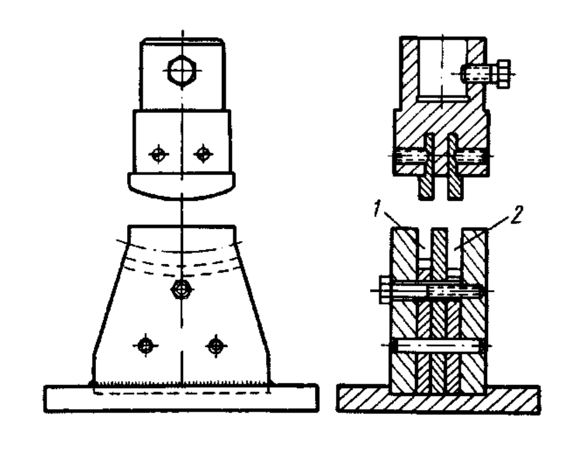


Рис. 15. Приспособление для выгибания лобовых частей катушек.

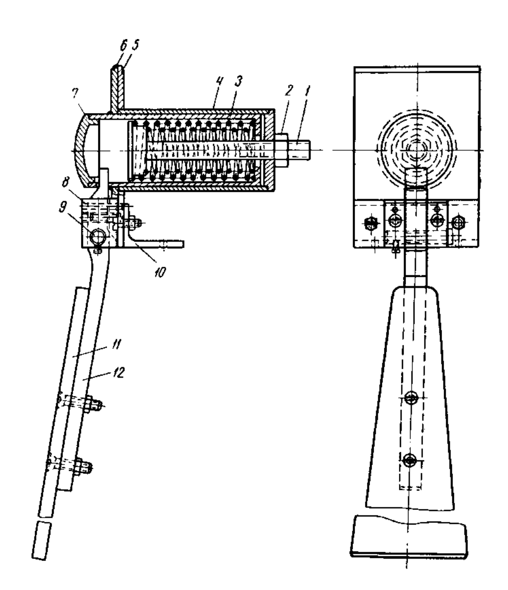


Рис. 16. Изолировочные тиски.

Пружины предварительно сжаты центральным штоком 1 с навернутой на него гайкой 2, при помощи которой можно регулировать усилие сжатия. Наружный цилиндр 4 крепится к верстаку приваренным к нему угольником 10, а внутренний закрыт крышкой 7 и имеет прорезь, в которую входит зуб рычага 12. Этот рычаг поворачивается на оси 9, закрепленной в обойме 8. При нажиме ногой на текстолитовую планку 11 губки тисков раскрываются. Изолируемую катушку вынимают, вставляя на ее место другую. Губки тисков периодически очищают от налипшего на них лака. Для изолировки катушек крупных машин применяют полуавтоматические изолировочные станки, рассматриваемые в §8.

Контрольные вопросы.

1. Объясните схему устройства намоточного станка.
2. Какой принцип положен в основу пневматического устройства для автоматической раскладки провода?
3. Из чего состоит изоляция паза всыпных обмоток?
4. Как устроен станок для параллельной растяжки катушек?
5. Расскажите об устройстве изолировочных тисков.

Глава III
Катушки из прямоугольного провода.
§8. Жесткие катушки статора.

Для машин переменного тока мощностью выше 100 кВт наматывать катушки статора из круглого провода было бы очень трудно, так как пришлось бы брать слишком большое число параллельных проводов. Поэтому для мощных машин катушки наматывают из проводов прямоугольного сечения, которые вкладывают в пазы с параллельными стенками. Такими пазами могут быть полуоткрытый и открытый.

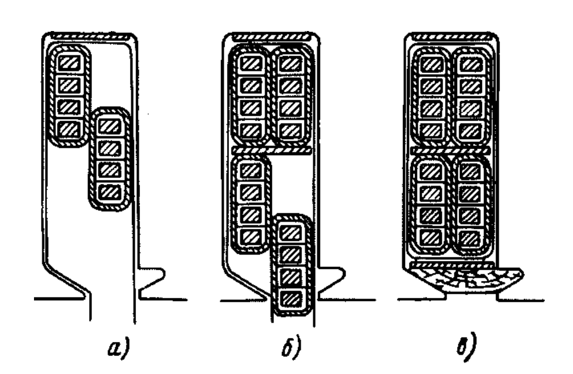


Рис. 17. Полуоткрытый паз статора: *а*, *б*, *в* – порядок укладки катушек.

В машинах мощностью до 400 кВт при напряжении до 660В применяют полуоткрытые пазы. Они отличаются от полузакрытых пазов тем, что прорезь паза сдвинута с середины в сторону и по величине равна половине ширины паза (рис. 17).
Чтобы можно было заполнить паз через прорезь, каждую катушку делят по ширине на две, вводя их в паз, как показано на рисунке. Таким образом, общее число катушек в два раза больше числа пазов, что усложняет процессы намотки и изолировки катушек. Тем не менее, полуоткрытые пазы применяют в машинах переменного тока, так как по сравнению с открытыми они создают меньшее сопротивление для магнитного потока, что позволяет повысить cos ф машины и снизить пульсационные потери.
Провода каждой полукатушки оплетены лентой, и в пазы вложены изоляционные гильзы из двух слоев электрокартона с проложенной между ними полоской лакоткани. Таким образом, изоляцией от корпуса, так же как и во всыпных обмотках, служит пазовая гильза. Особенно трудоемкой является изоляция вручную лентой лобовых частей полукатушек.
В последнее время разработан метод изолировки лобовых частей специальным лаком КП22. После растяжки полукатушки погружают лобовыми частями в лак, просушивают при температуре 150 – 170°С в течение 5 – 10 мин и укладывают в пазы. *(С 1 января 1963 г. введена Международная система единиц (СИ). В этой системе температура измеряется по термодинамической шкале в градусах Кельвина (°К). Соотношение между градусами Кельвина (*T*) и Цельсия (t) выражается формулой:* T = t *+ 273,16° К)*
Предварительная пропитка в лаке КП22 позволила отменить и изоляцию пазовых частей телефонной бумагой, так как этот лак обладает высокой склеивающей способностью. Таким образом, применение новых изоляционных составов дало возможность коренным образом изменить весь технологический процесс изготовления полукатушек и резко поднять производительность труда.
Для машин напряжением выше 660В гильзовая изоляция является недостаточно надежной, поэтому все высоковольтные машины переменного тока выполняют с непрерывной изоляцией статорных катушек путем оплетания их лентами по всему контуру. Число слоев ленты определяется напряжением машины и условиями ее работы. Катушки с непрерывной изоляцией могут быть вложены только в открытые пазы.

Катушки наматывают из прямоугольного провода ППТБО, изоляция которого состоит из триацетатной пленки, телефонной бумаги и хлопчатобумажной обмотки. Если катушки наматывают из проводов ПБД или ПСД, то требуется дополнительная изоляция каждого витка микалентой или синтолентой. Раньше эту изолировку проводили вручную после намотки катушки на шаблон – лодочку. В настоящее время наложение витковой изоляции механизировано. Чтобы скорость движения провода была постоянной, катушку наматывают на цилиндрический шаблон, периметр которого равен ее периметру.

Намоточно – изолировочный станок ШЛМ (рис. 18) приводится во вращение электродвигателем 9 через ременную передачу. Для соединения станка с передачей служит фрикционная муфта 3 и гаечный выключатель, сидящие на промежуточном валике. От этого валика через зубчатую передачу вращается корпус 4 механического обмотчика, представляющего собой наклонно установленный диск с надетыми на него роликами 5 с изоляционной лентой. Через червячную передачу и вторую пару зубчатых колес приводится во вращение намоточный шаблон 8. Скорости вращения шаблона и механического обмотчика должны быть согласованы так, чтобы провод передвигался через шпиндель 6 станка за один оборот обмотчика на величину перекрытия ленты. Провод подается на станок с барабанов 1. Число их определяется числом параллельных проводов в катушке. Перед шпинделем станка провод проходит между роликами 2, которые разглаживают неровности. Ролики 7 служат для поддержания провода на участке изолировки. После намотки круглую заготовку растягивают в виде лодочки.

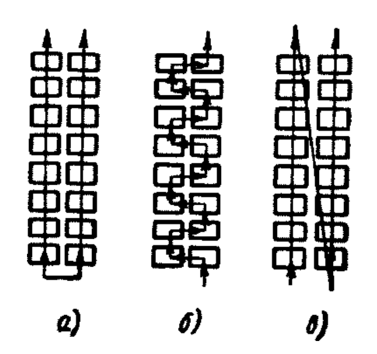


Рис. 19. Схемы намотки катушек статора, *а*, *б*, *в* – варианты намотки.

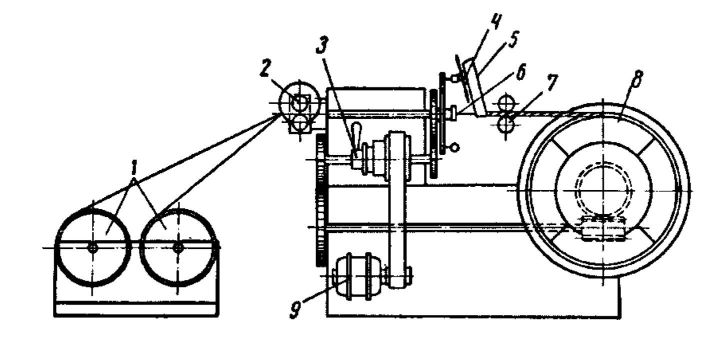


Рис. 18. Намоточно – изолировочный станок ШЛМ.

Обмотка статора при открытых пазах состоит из одиночных катушек, число которых для двухслойной обмотки равно числу пазов. На заводе им. Владимира Ильича была проведена работа по замене провода ПБД эмалированным прямоугольным проводом ПЭВП с дополнительной витковой изоляцией из синтоленты. Испытания машин дали хорошие результаты и позволили уменьшить размеры пазов путем уменьшения толщины витковой изоляции.

Во всех машинах большой мощности применяют катушки с двухрядным расположением проводов по ширине паза. На рис. 19 показаны варианты намотки катушки. Наиболее простым является способ намотки, изображенный на рис. 19*а*. Однако при этом в высоковольтных машинах получается большое напряжение между выводными концами катушки. Для снижения напряжения применяют намотку по схеме, показанной на рис. 19*б*, связанной со значительными технологическими трудностями.

Как видно из схемы, в каждом ряду надо делать переходы вначале справа налево, а затем слева направо. Для этого при каждом обороте шаблона приходится провод перекладывать из одного ряда в другой в лобовой части катушки и дополнительно изолировать переходы. При намотке по схеме, изображенной на рис. 19*в*, эти трудности устраняются. Сначала наматывают один вертикальный ряд проводов, а затем при обратном направлении вращения станка – второй. Переходы делают в головке катушки. Иногда ряды проводов наматывают отдельно, а места их соединений сваривают.

Для укладки в пазы статора пазовые части должны быть разведены на величину шага обмотки и расположены под углом между пазами, в которые вкладывают стороны катушки. Для этого заготовку–лодочку подвергают второй растяжке в катушку. Растяжка катушек высоковольтных обмоток статора значительно отличается от растяжки якорных катушек. У якорной обмотки лобовые части верхнего и нижнего слоя почти вплотную прилегают одна к другой, в то время как в статорных обмотках они значительно удалены. Статорные катушки имеют большие размеры как линейные, так и поперечного сечения, что требует более мощных растяжных станков. Расположение пазовых частей катушки под углом должно быть выполнено одновременно с растяжкой пазовых частей, так как добиться этого выгибанием лобовых частей после растяжки невозможно. При растяжке надо остерегаться повреждения междувитковой изоляции из микаленты. При растяжке статорных катушек провода прямоугольного сечения в лобовых частях выгибаются на ребро, что требует приложения больших усилий.

Выполнение всех этих требований возможно только при радиальной растяжке статорных катушек на специальных станках со сложной кинематикой и пневматическим приводом. Ввиду того что на каждом заводе в производстве находятся несколько типов статорных обмоток, растяжные станки выполняют с настройкой на катушки разных размеров в определенном диапазоне.

Управление растяжными станками с пневматическим приводом осуществляется при помощи двух трехходовых кранов, рукоятки которых рабочий должен поворачивать в строго определенной последовательности.

Кинематическая схема механизма растяжки показана на рис. 20. В исходном положении рычагов А и В расстояние между сторонами катушки равно ширине намоточного шаблона. В конце растяжки расстояние между ними должно быть равно толщине изоляции в пазу. В то же время пазовые части должны быть расположены на сторонах центрального угла α между пазами определяющими шаг обмотки. Для выполнения этих условий рычаг А вращается вокруг точки O, а рычаг В – вокруг точки O'. рычаги А и В шарнирно соединены в точке m. После снятия с растяжного станка катушка не имеет точных размеров, необходимых для вкладывания ее в пазы, так как лобовые части пружинят, а пазовые части разбухают вследствие неплотностей между витками. Поэтому у жестких катушек прессуют пазовые части и рихтуют лобовые части.

Если катушку не компаундировали в форме лодочки, то провода обмотки перед прессовкой покрывают клеящими лаками, имеющими свойство полимеризоваться, т. е. переходить в неплавкое и нерастворимое состояние при нагреве. К таким лакам относятся бакелитовый, глифталевый, а также лаки на эпоксидных смолах. Процесс прессовки пазовых частей заключается в том, что катушку нагревают под давлением и затем охлаждают, не снимая давления. При нагреве связующие вещества размягчаются и заполняют поры изоляции, а при охлаждении затвердевают и скрепляют провода катушки.

На рис. 21 показано устройство рихтовочного приспособления для жестких катушек с одновременной прессовкой пазовых частей. Катушку после растяжки вкладывают пазовыми частями в пазы 1 и 2 между пуансоном и матрицей приспособления и зажимают посредством пневматического цилиндра 3. После этого рихтуют лобовые части по желобкам 4 приспособления ударами молотка через фибровую прокладку. При серийном производстве электрических машин имеются несколько катушек каждого типа машин с незначительной разницей в размерах сечения или различной длины при одинаковой ширине. Чтобы избежать большого числа приспособлений для прессовки и рихтовки, применяют комбинированные приспособления, в которых можно прессовать несколько типов катушек. Это достигается использованием сменных обойм для прессовки пазовых частей или раздвижных шаблонов при разных длинах катушек.

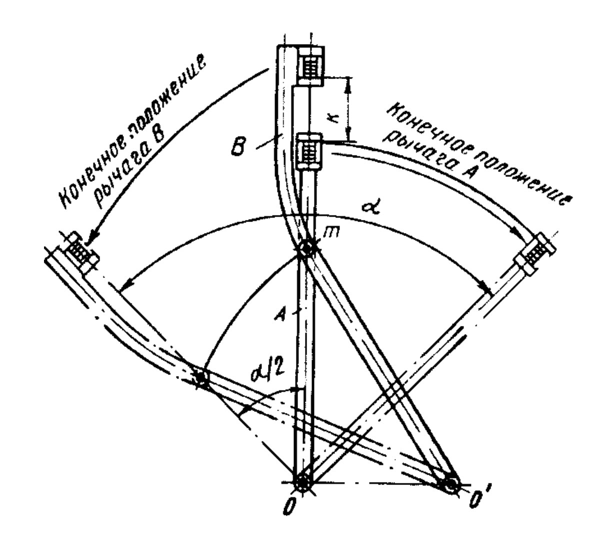


Рис. 20. Кинематическая схема механизма растяжки.

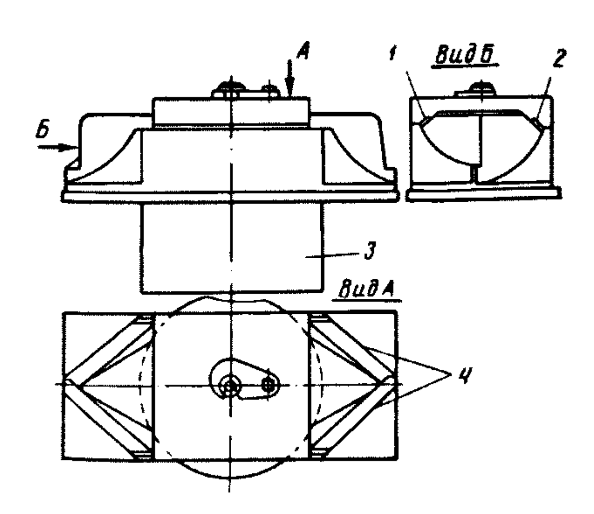


Рис. 21. Приспособление для рихтовки катушек статора.

В последнее время применяют полуавтоматические растяжные станки. Рабочий устанавливает намотанную на станке заготовку – лодочку и нажимает кнопку "пуск". Все операции растяжки катушки по шагу и окончательной формовки полуавтомат выполняет без участия рабочего, который только снимает со станка готовую катушку.

На рис. 22 показан полуавтомат завода им. Владимира Ильича, предназначенный для растяжки и формовки катушек статора двигателей единой серии 8 – 11 габаритов. Настройка станка на растяжку катушек разной длины производится винтами 2 с правой и левой резьбой, которые передвигают механизмы растяжки 12 и 15 и механизмы формовки 7 и 19 лобовых частей по станине симметрично от центральной вертикальной оси станка. Их положение проверяют по делениям шкалы 28 на станине станка. В установленном положении механизмы запирают рукоятками 27. Заготовку – лодочку устанавливают на фиксирующих штырях 8 и в зажимных устройствах механизмов растяжки. Нажимают кнопку "пуск" на пульте 21. При этом замыкается цепь электромагнита пневматического распределительного золотникового крана, который впускает сжатый воздух в шесть пневматических цилиндров зажимных устройств. Цилиндры 9, 13, 14 и 17 зажимают пазовые части заготовки, а цилиндры 6 и 18 – лобовые части.

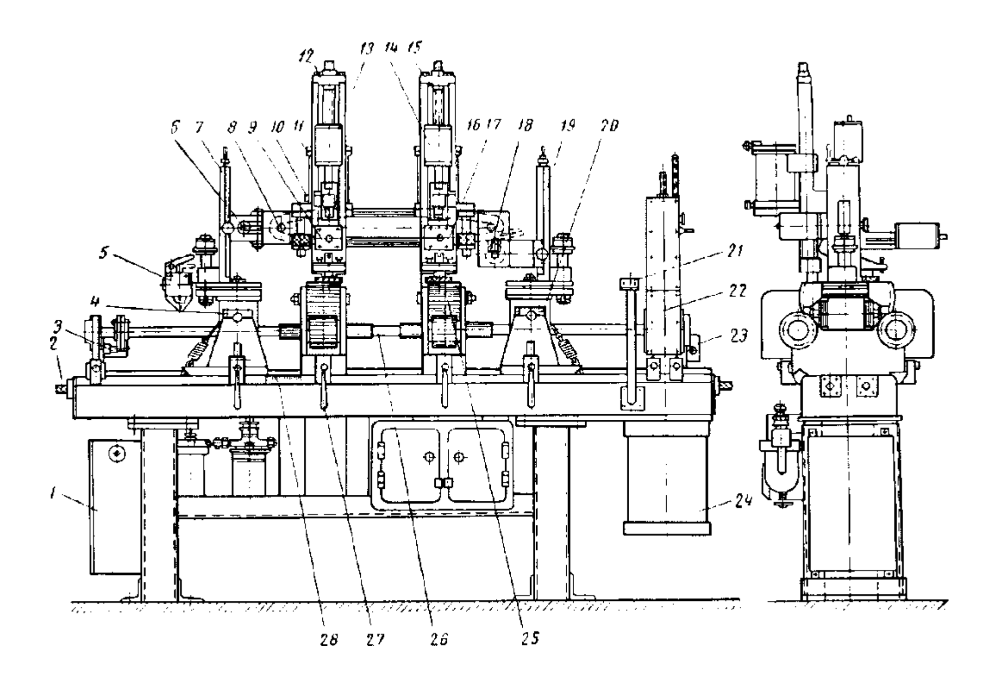


Рис. 22. Полуавтомат для растяжки и формовки катушек статора.

Один из шести зажимных цилиндров занимает крайнее положение последним, так как сжатый воздух к нему подается через отверстие меньшего диаметра, чем к другим цилиндрам. Когда этот цилиндр займет крайнее положение, через переключатель 10 подается команда распределительному золотниковому крану на подачу сжатого воздуха в рабочую полость главного силового цилиндра 24, приводящего в действие механизмы растяжки катушки. Шток цилиндра 24 соединен с двусторонней зубчатой рейкой в механизме 22 главного привода. В зацепление с зубцами рейки входят две шестерни на концах шлицевых валиков 26. Валики приводят во вращение шестерни механизмов растяжки, которые поворачивают в разные стороны зубчатые секторы 25. При этом рычаги механизмов растяжки вместе с зажатыми в них пазовыми частями катушки поворачиваются в разные стороны и производят растяжку пазовых частей на величину шага катушки по пазам статора.
Механизм растяжки, не доходя до своего крайнего положения, упором кулачка включает концевой переключатель 3, который через электромагнитный распределительный кран подает сжатый воздух в цилиндры 11 и 16, формующие катушку в горизонтальной плоскости. При крайнем положении механизма растяжки включается концевой переключатель 23, дающий команду через электромагнитный распределительный кран пневматическим цилиндрам 4 и 20. Выполнить операцию формовки катушки в вертикальной плоскости. На этом формовка катушки заканчивается. Через направляющий валик включается концевой переключатель 5, дающий команду шести пневматическим цилиндрам зажимных устройств освободить готовую катушку. Рабочий снимает ее со станка. Нажатием второй кнопки на пульте управления механизмы растяжки возвращаются в исходное положение. Станок готов для растяжки следующей катушки. Все электрооборудование автоматического цикла размещается в шкафу 1 под станиной полуавтомата.
Статорные катушки высоковольтных машин имеют исключительно непрерывную изоляцию, причем число слоев изоляции в пазовой части обычно больше, чем в лобовых частях. Это объясняется тем, что пробой изоляции между медью и стальным сердечником более вероятен, чем между проводами в лобовых частях. Непрерывная изоляция дает возможность компаундировать катушку после изолировки, чего нельзя делать при гильзовой изоляции, так как слои гильзы непроницаемы для компаундной массы. Электрическая прочность непрерывной изоляции значительно выше, чем гильзовой, в которой слабым местом являются стыки пазовой гильзы с ленточной изоляцией лобовых частей.
Катушки в процессе производства оплетают не только основной изоляцией, но и временной лентой, которую затем снимают. Так, например, катушки оплетают лентой перед прессовкой и рихтовкой для предохранения изоляции провода от повреждений. Временную ленту наматывают перед каждым компаундированием, чтобы снять наплывы компаундной массы вместе с временной лентой после охлаждения катушки.
Катушки изолируют лентами на полуавтоматических изолировочных станках, которые заряжают роликами с лентой, затем вставляют и закрепляют изолируемую катушку; остальные операции производятся автоматически. Существует два типа изолировочных станков. У одних положение механического обмотчика остается неизменным, а движение подачи совершает сама катушка; у других катушка неподвижна, а ролик с лентой обходит ее лобовые и пазовые части в процессе изолировки. Первые применяют для катушек машин средней мощности, вторые – для крупных катушек и стержней.
На рис. 23 показана кинематическая схема изолировочного станка ЛШ4, у которого движение подачи совершает катушка (изолировочный станок второго типа описывается в §11). Станок имеет привод от электродвигателя 9, который ременной передачей связан с коробкой скоростей 7. Реверсирование станка для холостого хода осуществляется рукояткой 8; при этом муфтой 10 отключают изолировочную головку.

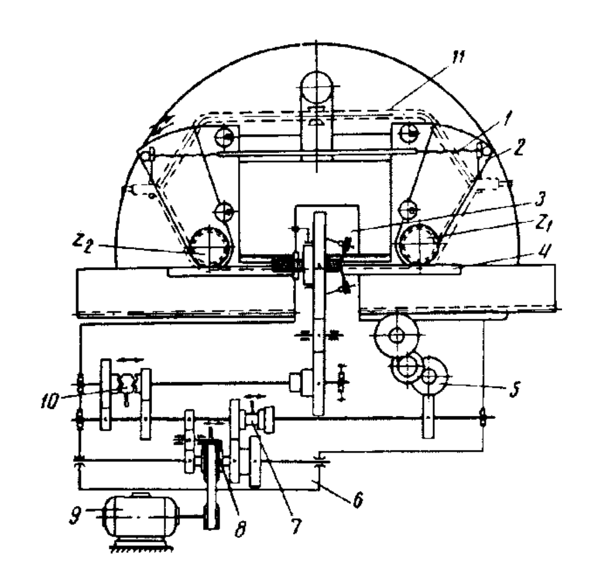


Рис. 23. Кинематическая схема изолировочного станка.

От главного вала коробки скоростей 6 движение передается в двух направлениях: через систему зубчатых колес к изолировочной головке 3; изменение скорости достигается переводом муфты сцепления 10 вправо или влево; через червячную передачу 5 и две пары зубчатых колес на реечное зацепление, сообщающее поступательное движение каретке станка. Изолируемая катушка 11 закрепляется головками в катушкодержателях 2 плавающего типа, установленных на каретке 1 станка. Одна сторона катушки через прорезь изолировочной головки вводится в зону изолировки. Изолировка начинается от одной из головок катушки. Сначала изолируется одна лобовая часть, затем пазовая и вторая лобовая часть. При переходе от лобовой части к пазовой катушка поворачивается на угол наклона лобовой части. Это движение осуществляется перекатыванием зубчатых колес z_1 и z_2 по рейке 4. Головки катушки изолируют вручную.
Станок предназначен для наложения корпусной изоляции на статорные катушки высоковольтных машин. Производительность его 70 – 80 катушек в смену, она во многом зависит от прочности и эластичности ленты, которой катушка изолируется.
Весь технологический процесс изготовления катушек высоковольтных обмоток статора состоит из следующих операций:
1) намотка круглой заготовки с одновременным наложением витковой изоляции;
2) обмотка заготовки лентой под опрессовку;
3) растяжка заготовки в лодочку;
4) первая опрессовка лодочки в гидропрессах;
5) подготовка к первому компаундированию;
6) первое компаундирование лодочки;
7) обдирка временной ленты и обмотка лентой под вторую опрессовку;
8) вторая опрессовка лодочки в гидропрессах;
9) растяжка лодочки в катушку;
10) рихтовка катушки на шаблоне;
11) наложение корпусной изоляции;
12) подготовка ко второму компаундированию;
13) второе компаундирование;
14) обдирка временной ленты, калибровка пазовых частей и зачистка концов.

Операции 1, 2, 3, 4, 6, 8 и 13 механизированы, остальные выполняют вручную.
Наложение витковой изоляции в процессе изготовления катушки являлось временной мерой, продиктованной отсутствием обмоточных проводов с достаточно надежной изоляцией. После освоения кабельными заводами проводов ППТБО и других марок с теплостойкой изоляцией процесс наложения витковой изоляции будет исключен из технологии электромашиностроительных заводов.

§9. Жесткие катушки ротора.

В асинхронных двигателях старых серий применяли два типа обмоток ротора; катушечные из круглого провода для двигателей мощностью примерно до 10 кВт и стержневые для двигателей большей мощности. В единой серии асинхронных двигателей АК впервые в практике электромашиностроения стержневые обмотки в роторах всех двигателей мощностью до 100 кВт стали выполнять из жестких многовитковых катушек, вкладываемых в открытые пазы ротора (рис. 24). Конструктивная особенность этих обмоток заключается в том, что провода располагаются в один ряд в пазу. Это несколько усложняет процесс намотки катушек, но зато существенно улучшает условия охлаждения, так как каждый провод обеими сторонами граничит со стенками паза. Катушечные обмотки ротора в двигателях малой мощности имеют следующие преимущества перед стержневыми обмотками: значительное сокращение числа паек, потому что катушечную группу наматывают на шаблоне непрерывным проводом; устранение операций изолировки стержней и гибки их на роторе, так как катушки наматывают из изолированного провода, и они получают окончательную форму до укладки в пазы; значительное сокращение времени укладки обмотки в пазы.

Для намотки катушечной группы роторной обмотки применяют стальные шаблоны с числом желобков, равным максимальному числу катушек в катушечной группе. При намотке однорядных катушек из тонкого провода снимать намотанную катушечную группу с сердечника шаблона трудно, так как при сильном натяжении провода, необходимом для плотного облегания сердечника, создается большое трение между проводом и сердечником. Вследствие этого необходимо прикладывать большие усилия, под действием которых витки катушки деформируются, и их приходится дополнительно рихтовать. При этом выпадают прокладки из электрокартона между витками, и повреждается изоляция проводов.

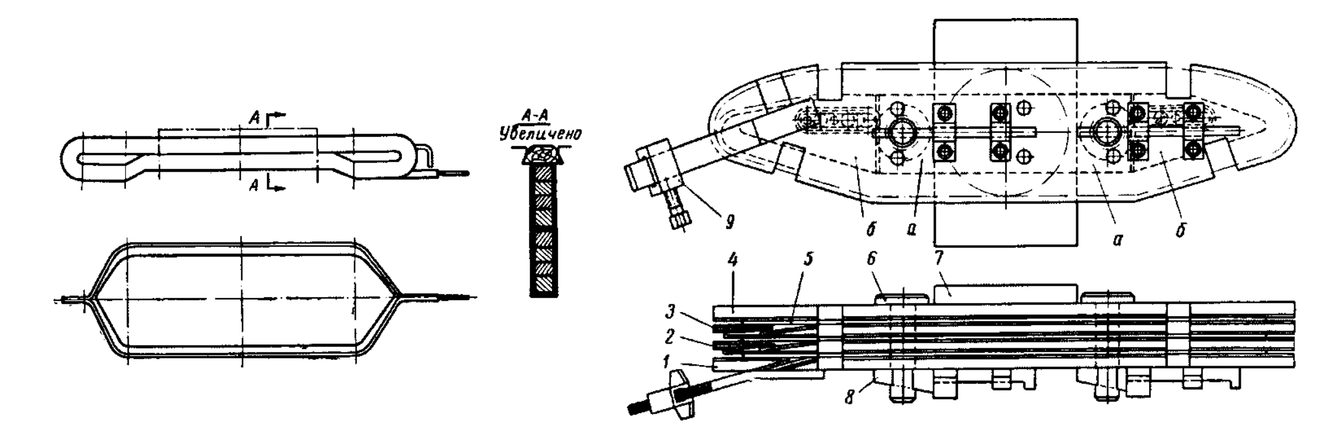


Рис. 24. Катушка роторной обмотки.

Рис. 25. Намоточный шаблон для роторных катушек.

В шаблонах, применяемых на заводе им. Владимира Ильича (рис. 25), эти недостатки устранены путем изменения конструкции шаблона. К основанию 4 шаблона приварена пластина 7 для крепления его к шпинделю намоточного станка. На основании жестко закреплены два стержня 6, на которые нанизаны сердечники 5 с промежуточными перегородками 2 и 3 и крышка 1 шаблона. Хомутик 9 служит для закрепления провода. Шаблон имеет три сердечника 5 в соответствии с числом катушек в катушечной группе. Особенность конструкции шаблона заключается в том, что сердечники выполнены не из одного куска стали, как в шаблонах обычной конструкции, а состоят из средних частей *а* и крайних *б*. Крайние части сердечников имеют возможность продольно перемещаться по овальным пазам. Таким образом, при вынутых средних частях сердечников крайние части могут несколько сдвигаться к центру шаблона.

Части шаблона крепят следующим образом. К крышке 1 прикреплена средняя часть первого сердечника, крайние его части подвижно соединены с перегородкой 2. К обратной стороне этой перегородки приклепана средняя часть второго сердечника, крайние его части соединены с перегородкой 3. Наконец, средняя часть третьего сердечника прикреплена к обратной стороне перегородки 3, крайние части скреплены с основанием 4.
После намотки катушечной группы выбивают клинья 8 из проушин в стержнях 6 и поднимают крышку 1 шаблона вместе со средней частью первого сердечника. При этом крайние части этого сердечника сдвигают к центру и первую катушку легко снимают с сердечника. Затем удаляют перегородку 2, после чего освобождается вторая катушка. И, наконец, сняв перегородку 3, вынимают третью катушку. Собирают шаблон в обратной последовательности. Благодаря такой конструкции шаблона исключены операции рихтовки катушек, увеличилась производительность труда и повысилось качество обмоток.

§10. Жесткие катушки якоря.

В мягких катушках якоря верхний слой выводных концов катушки выходит из – под лобовых частей и для подвода к пластинам коллектора провода перегибают (см. рис. 52). Это относительно легко сделать в катушках из круглого провода и очень трудно в жестких катушках из прямоугольного провода, так как углы провода могут продавить изоляцию соседних проводов, с которыми они перекрещиваются. Поэтому жесткие катушки обмотки якоря выполняют без перекрещивания выводных концов.
На рис. 26 видно, что нижний слой выводных концов выходит из – под петли лобовых частей, а верхний слой – над петлей. Особенность конструкции катушек из прямоугольного провода заключается в том, что перекрещивание проводов, которое при круглых проводах находится со стороны коллектора, перенесено на другую сторону якоря. Катушка в месте перекрещивания имеет двойную толщину, поэтому и названа катушкой с двойной головкой. Достоинством такой катушки является то, что перекрещивание проводов в двойной головке не очень опасно, так как между головками проложена дополнительная изоляция, и в процессе укладки в пазы головка катушки не подвергается таким сильным деформациям, как выводные концы.
На рис. 27 показан шаблон для намотки катушек с двойной головкой. По конструкции он гораздо сложнее, чем шаблон для мягких катушек. Шаблон имеет две щеки, причем задняя 1 служит для центрирования и крепления передней щеки 4, на которой расположены скобы 3 под зажимные клинья.
Существенной особенностью этого шаблона является средняя перегородка 5 между сердечниками, которая имеет в верхней или в нижней пазовой части наклонно прорезанный паз 2 для перехода проводов катушки с одного сердечника на другой, соединяющий две противоположные лобовые части разных сердечников Задний сердечник имеет одну головку.
Намотка жестких катушек из прямоугольного изолированного провода на ребро представляет собой значительно более трудную операцию, чем намотка мягких катушек якоря. Для плотного прилегания проводов к шаблону требуется сильное натяжение проводов при намотке и обязательное подбивание лобовых частей на шаблоне молотком через фибровую прокладку, толщина которой равна ширине паза якоря. Катушки наматывают на тихоходных намоточных станках, снабженных мощным приводом с червячной передачей и фрикционом. Передача и фрикцион должны плавно увеличивать скорость и обеспечивать мгновенную остановку шпинделя на любой позиции при помощи ленточного или дискового тормоза.
Натяжные плашки для натяга проводов обычно базируются на стойке, заделанной в фундамент станка и имеющей в верхней части П – образную нижнюю металлическую скобу и верхнюю шарнирно укрепленную скобу с натяжным болтом. Между скобами вкладывают деревянные плашки, через которые пропускают обмоточный провод.

Растяжка и формовка лобовых частей жестких катушек производятся аналогично соответствующим операциям над мягкими катушками.
Катушки с двойной головкой, как правило, выполняют двух – витковыми, и поэтому двойная головка получается симметричной (см. рис. 26). При большем числе витков во второй желобок ложится только последний виток и головка получается несимметричной. В якорях диаметром до 150 мм. иногда нельзя применить обмотки с двойной головкой из – за недостатка места по окружности обмоткодержателя для укладки двойных головок.
В процессе намотки катушка подвергается сильным механическим воздействиям, поэтому для катушек с двойной головкой применяют провода с надежной двойной волокнистой изоляцией марок ПБД или ПДА. Головки катушек дополнительно изолируют лентой из лакоткани и между ними вставляют штампованные из электрокартона прокладки, а затем обе головки оплетают киперной или полотняной лентой.
При изолировке вручную больших катушек усилие зажатия, создаваемое пружинными тисками (см. рис. 16), недостаточно. Чтобы катушка не сдвигалась натяжением изоляционной ленты, приходится зажимать ее в непосредственной близости от изолируемого участка, а для этого надо несколько раз переставлять катушку в тисках.

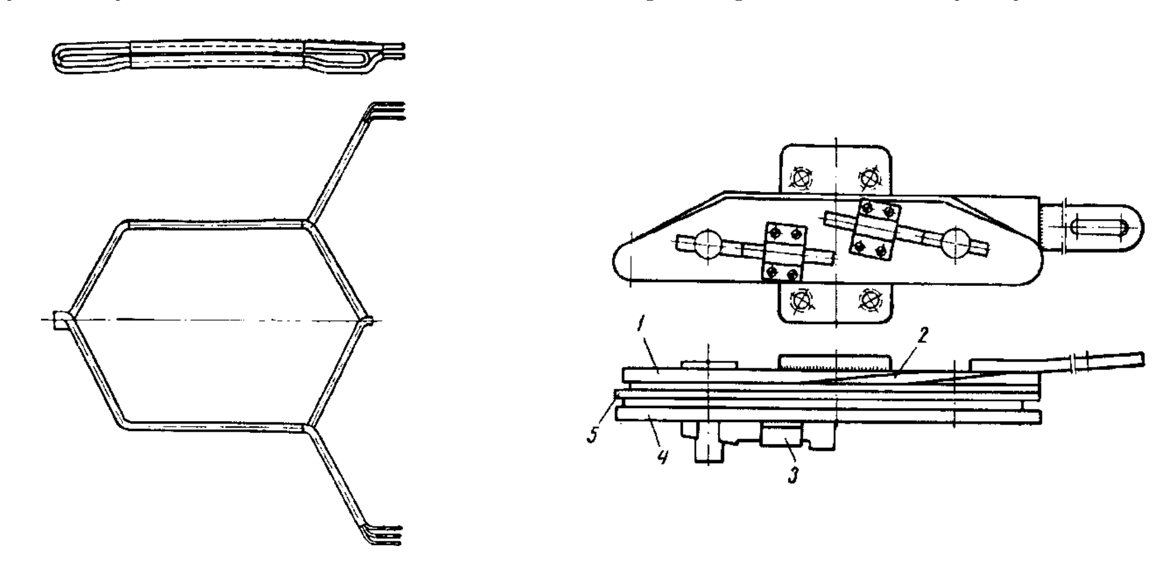


Рис. 26. Катушка якоря с двойной головкой.

Рис. 27. Шаблон для намотки катушек с двойной головкой.

На рис. 28 показана конструкция пневматических тисков для изолировки катушек больших машин. На корпусе 3 смонтирован пневматический цилиндр 5 диаметром 75 мм. Шток 1 поршня 2 штифтами 11 соединен с тягой 9, второй конец которой укреплен на подвижной губке 8. Катушка зажимается между неподвижной 7 и подвижной 8 губками с усилием 150 кг.*, при давлении воздуха в магистрали 4 атм. Для предупреждения утечки воздуха в цилиндре установлены манжеты 4 из бензомаслостойкой резины. Ход подвижной губки (25 мм.) позволяет зажимать катушки с большим сечением меди. Тиски включаются при помощи педального клапана и золотникового устройства, подающего воздух в цилиндр 5 через штуцер 6. Для защиты рук от повреждений подвижными частями служат щитки 10. Внедрение тисков повышает производительность и улучшает условия труда.

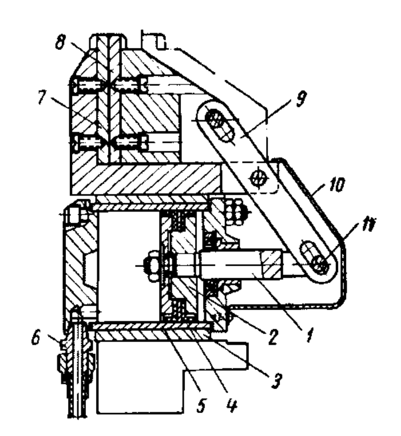


Рис. 28. Пневматические тиски для изолировки катушек.

Контрольные вопросы.
1. Расскажите об устройстве намоточно–изолировочного станка.
2. Какие применяют способы раскладки проводов в пазу?
3. Объясните схему работы полуавтомата для растяжки катушек статора.
4. Как устроено приспособление для рихтовки катушек?
5. Расскажите о принципе работы изолировочного станка.
6. В чем заключаются особенности намоточного шаблона для катушек роторной обмотки?
7. В каких обмотках применяют катушки якоря с двойной головкой?
8. Объясните устройство тисков для изолировки катушек.

*В СИ сила измеряется в ньютонах (*н*). 1 кг ≈ 9,8 *н*.

Глава IV
Стержни обмоток.
§11. Стержни обмотки статора.

Чем больше мощность электрической машины, тем меньше число эффективных проводов в пазу. При мощностях в десятки и сотни тысяч киловатт обмотки статора машин переменного тока имеют только по два провода в пазу – по одному в каждом слое обмотки. Однако с увеличением мощности растет ток, протекающий по проводу, а значит, увеличивается и сечение провода. В массивном проводе появились бы вихревые токи, вызывающие дополнительные потери энергии и нагрев провода. Поэтому провод разделяют на несколько параллельных, изолированных один от другого. В мощных синхронных генераторах один эффективный провод состоит из 40 и более элементарных проводов марок ПДА или ПСД. В крупных машинах катушки обмотки статора достигают огромных размеров и веса, поэтому такие обмотки выполняют из полукатушек и называют стержневыми. Применение стержневых обмоток вызывает дополнительные трудности, потому что приходится паять соединения на обоих торцах статора.

На рис. 29 показан стержень обмотки статора, элементарные провода которого переплетены между собой. В нем отдельные участки каждого элементарного провода меняются местами по глубине паза, благодаря чему снижаются потери на вихревые токи. Если бы стержень не был переплетен, то элементарные провода, лежащие на дне паза, имели бы большее индуктивное сопротивление, чем провода, лежащие над ними. Ток между проводами распределялся бы обратно пропорционально их сопротивлениям, что и вызвало бы дополнительные потери энергии. Благодаря переплетению выравниваются сопротивления элементарных проводов.

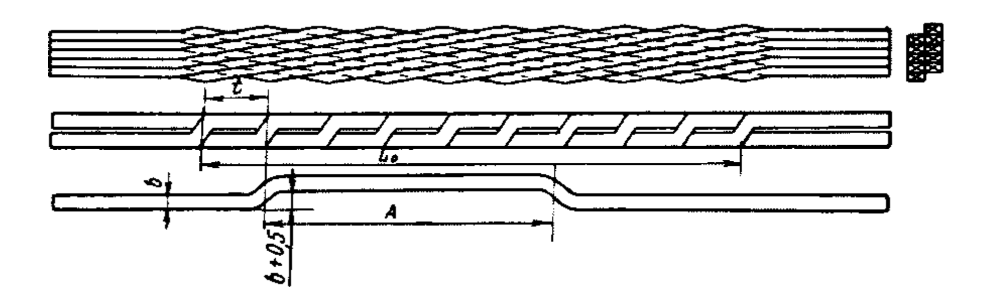


Рис. 29. Стержень обмотки статора.

Переплетение проводов выполняют только при двухрядном расположении их в пазу. Как видно из рис. 29, каждый провод имеет изгиб на ребро по длине A, равной половине плетеной части стержня L_0. Глубина изгиба равна ширине провода b с припуском 0,5 мм. для вкладывания изоляционных прокладок между рядами проводов. Изгибы в отдельных проводах смещены на величину t, которая называется шагом плетения. Как видно на поперечном сечении стержня, места двух элементарных проводов остаются незаполненными; их занимают переходы проводов из ряда в ряд. Это необходимо учитывать при определении размеров паза и действительного числа проводов в пазу.

При намотке многовитковых катушек медная шина подается на станок с бухты; ее отрезают после намотки катушки. При стержневых обмотках до начала формовки стержней нарезают заготовки мерной длины и выправляют изгибы, как по толщине, так и по ширине сечения шины. При изготовлении обмоток статора турбогенераторов приходится нарезать большое число заготовок. Раньше медную шину протягивали для правки между пластинками из гетинакса, сжатыми с определенным усилием, специальным захватом, укрепленном на тросе, который наматывали на барабан лебедки. Трос от натяжения закручивался и шина получала винтообразное искривление, которое дополнительно выпрямляли на столе вручную. Так как длина заготовки достигала 9 м, то получались большие припуски по длине.

На заводе "Электросила" разработан и внедрен в производство полуавтомат для правки медных шин, поставляемых в бухтах, и резки их на заготовки заданной длины с высокой точностью. Станок (рис. 30) представляет собой Т – образную сварную станину. На станине размещены механизмы правки и резки, а под ней – электродвигатель с механизмами передачи и приборы управления.

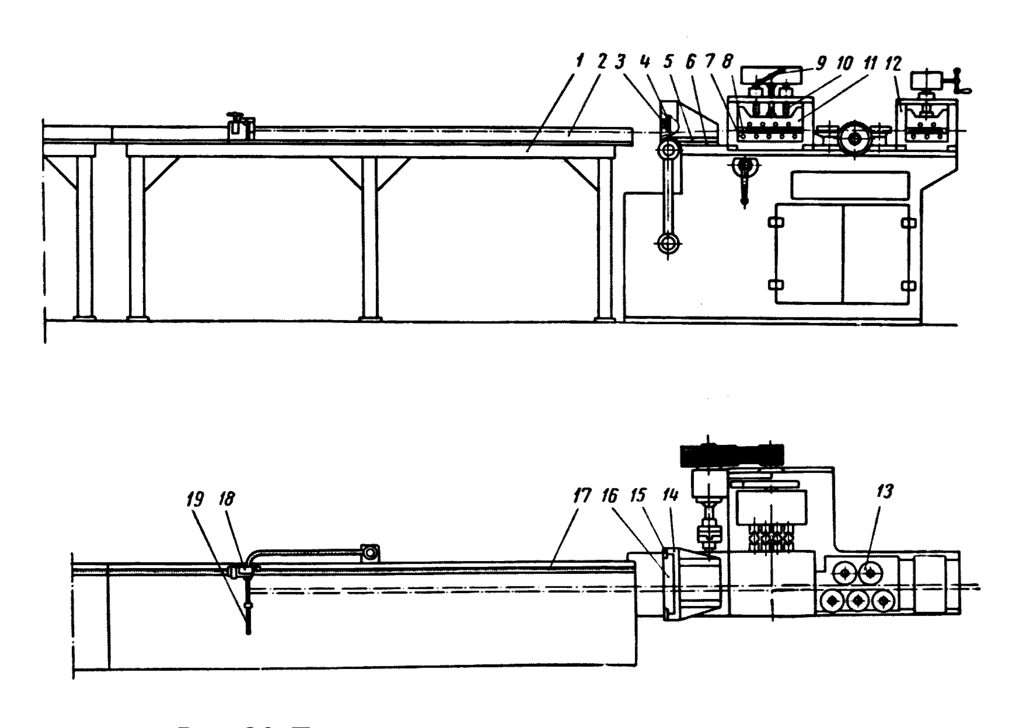


Рис. 30. Полуавтомат для правки и резки шин.

Медную шину с бухты заправляют между горизонтальными роликами приемного устройства 12 и затем пропускают между пятью вертикальными роликами 13, при этом выпрямляются искривления шины на ребро. Расстояния между роликами 13 регулируются винтовым устройством в зависимости от ширины шины. Затем конец шины попадает в щель между подающими валками 7. В двух вертикальных стойках подающих валков размещены планки 8 и ползуны 11 с ведущими валками. Величина зазора между валками регулируется подъемом или опусканием ползунов 11 при помощи винтов 10, получающих вращение от рукоятки 9 через червячные пары. Приемный стол длиной 9 м состоит из трех секций 1 и расположен на одной линии со станком со стороны механизма резки. Вдоль стола установлена планка 2 с линейкой 17 и упором 19 с конечным выключателем 18. К основанию 6 механизма резки прикреплена болтами стенка 14 с ребрами, внутри которой по направляющим 15 передвигается каретка 16 с верхним ножом 4, имеющим вертикальный ход 25 мм.

Нож приводится в движение эксцентриковым валом от двигателя. В направляющих основания, выполненных в виде "ласточкина хвоста", находится ползун 5 с укрепленным в нем нижним ножом 3.

Последовательность формовки и плетения стержня статорной обмотки турбогенератора показана на рис. 31. Нарезанные провода рихтуют и упирают концами в гребенку (рис. 31*а*), число уступов которой равно числу проводов в половине стержня. В таком виде провода полустержня (рис. 31*б*) скрепляют зажимами и на рычажном приспособлении выгибают на ребро с расстоянием А (рис. 31*в*), равном половине плетеной части стержня. Затем зажимы снимают и торцы проводов выравнивают в одной плоскости (рис. 31*г*). Полустержень плетут в два приема, начиная от середины (рис. 31*д*). Сначала все провода переплетают в местах первого изгиба, причем второй провод меняется местами с первым, третий со вторым и последний с предпоследним. Второе плетение полустержня выполняют в местах второго изгиба. Заготовку второго полустержня производят аналогично первому. Затем полустержни складывают боковыми сторонами и рихтуют по длине плетеной части. Тупым металлическим ножом приподнимают провода и прокладывают в местах изгибов миканитовые прокладки, а углубления заполняют пропитанной асбестовой бумагой. В процессе изготовления пазовые части стержня прессуют на гидравлических прессах с усилиями, достигающими 200Т в вертикальном направлении и 100Т в горизонтальном.

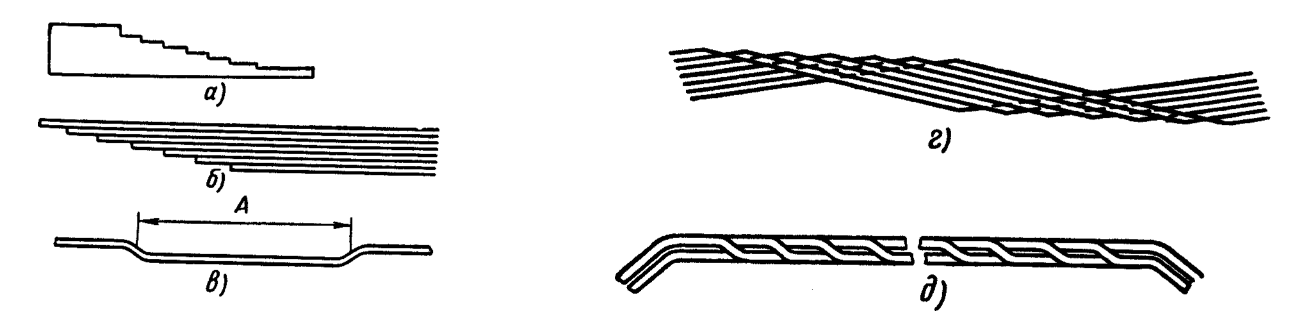


Рис. 31. Процесс плетения и формовки стержня:
а – *д* – последовательность процесса.

Перед прессовкой стержень обматывают киперной лентой и обертывают парафинированной бумагой, чтобы он не прилипал к стенкам пресс – формы. Нагретый до температуры 140 – 160°С стержень прессуют. Затем зачищают концы элементарных проводов от изоляции, разводят их при помощи гребенки и проверяют отсутствие замыканий между ними. В процессе прессовки натяжение киперной ленты ослабевает, поэтому ее снимают и снова изолируют стержень лентой. Лобовые части гнут ударами стального молотка через фибровую прокладку в шаблонах, зажав пазовую часть эксцентриковыми зажимами. Первое компаундирование стержня производят в автоклавах, чтобы заполнить все воздушные промежутки между проводами.

После охлаждения снимают киперную ленту с налипшими на ней излишками компаундной массы, обматывают стержень новой киперной лентой, прессуют пазовые и рихтуют лобовые части, после чего еще раз проверяют отсутствие замыкании между проводами. Затем снимают временную киперную ленту и передают стержень на изолировку микалентой. Изолируют стержни на полуавтоматических станках конструкции завода "Электросила", в которых стержень закрепляется неподвижно, а изолировочная головка обходит его лобовые и пазовые части. Сложность конструкции изолировочных станков объясняется тем, что они должны быть универсальны и легко настраиваться на различные размеры стержней.

На рис. 32 показана конструкция станка ЛШ5, предназначенного для изолировки стержней статора. Концы стержня 2 зажимают в кронштейнах 1. Пазовая часть поддерживается двумя стержнедержателями 5. Каретка 12, приводимая в движение электродвигателем 11, перемещается по копирам и обходит контур стержня. На каретке установлена вращающаяся розетка 3 с четырьмя катушками 4, на которые надеты рулоны ленты. С двух катушек одновременно на стержень наматывается микалента, а две другие служат для обматывания защитной киперной лентой.

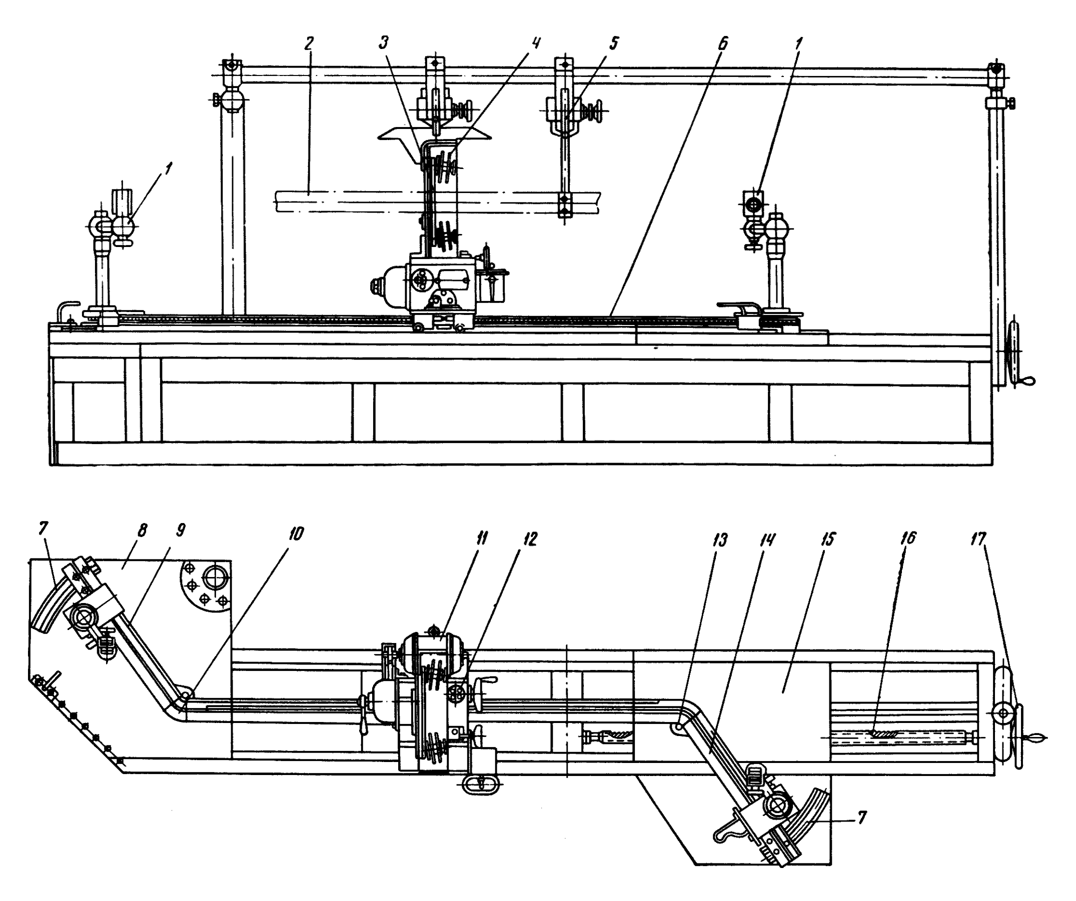


Рис. 32. Станок для изолировки стержней статора.

Перемещение каретки осуществляется путем зацепления ее ведущей шестерни с рейкой 6 стола. Розетка приводится во вращение кареткой, при обратных ходах которой розетка может отключаться и оставаться неподвижной. Чтобы лента плотно облегала стержень, катушки расположены под углом к нему. Натяжение ленты создается торможением катушек. Станок приспособлен для обматывания стержня лентой, как при прямом, так и при обратном ходе каретки. Стержень вводят в отверстие розетки, находящейся в крайнем положении, и закрепляют. Он должен быть установлен концентрично с розеткой. Регулируют положение стержня перемещением внутри розетки вращающегося ролика, на который опирается стержень. Скорость движения каретки и вращения розетки согласованы так, что лента наматывается на стержень вполнахлеста.

Перед изолировкой стержней других машин станок перестраивают следующим образом. При удлинении пазовой части отодвигают подвижную часть 15 стола от неподвижной 8 вращением ходового винта 16 при помощи маховичка 17. Изменение угла между пазовой и лобовыми частями производится поворотом копиров 9 к 14 лобовых частей вокруг осей 13. Для этого съемной рукояткой поворачивают шестерню на конце копира, находящуюся в зацеплении с зубчатым сектором 7. После поворота копиров должны быть сменены вставки 10. Устройство стержнедержателя показано на рис. 33. При подходе розетки обмоточных головок держатель автоматически раскрывается, а затем снова закрывается. Стержень удерживается рычагами 1 и 13, которые закреплены в корпусе 10 и могут вращаться вокруг оси 8. Верхние части рычагов связаны шарнирами 7 и 11 с шарнирными осями 9 и 12. Ось 9 запрессована в подвижную вилку 2 и может перемещаться вместе с ней по направляющему пазу корпуса.

К вилке прикреплена зубчатая рейка 3, которая находится в зацеплении с шестерней 4, насаженной на ось маховичка 6. На торце маховичка нарезаны зубья, которые сцепляются с храповым колесом 5, жестко связанным с корпусом 10. При установке стержня держатели раскрывают, вращая маховичок и поднимая вилку, вместе с которой поднимается и ось 9. После установки стержня вилку снова опускают, и рычаги захватывают стержень. Автоматическое раскрытие держателей производится упором, установленным на верхней части розетки. При подходе розетки ролик поднимает вилку и раскрывает рычаги держателя.

Стержень изолируют микалентой в несколько этапов. После каждого из них стержень проходит компаундирование, что способствует лучшему проникновению компаундной массы между всеми слоями микаленты. Для машин напряжением 15750В стержень изолируют микалентой в четыре этапа. Каждая операция компаундирования сопровождается обматыванием стержня киперной лентой, выполняемым при обратном ходе каретки изолировочного станка. Поверх последних слоев микаленты лобовые части обматывают стеклолентой. Окончив изолировку, концы стержней загибают на оправке, обрубают по размерам и облуживают.

Поверхность обмотки статоров электрических машин напряжением выше 6000В покрывают полупроводящими лаками 462п с примесью сажи, чтобы устранить явление коронирования. Растворителем является толуол. Полупроводящий лак на поверхности лобовых соединений выравнивает электрическое поле в месте выхода обмотки из паза и повышает величину напряжения, при котором возникает коронирование. Для покрытия пазовой части применяют лак Л9000 с поверхностным сопротивлением 10^4 – 10^6 ом для покрытия лобовых частей – лак Л9001 с поверхностным сопротивлением 10^9 – 10^{11} ом.

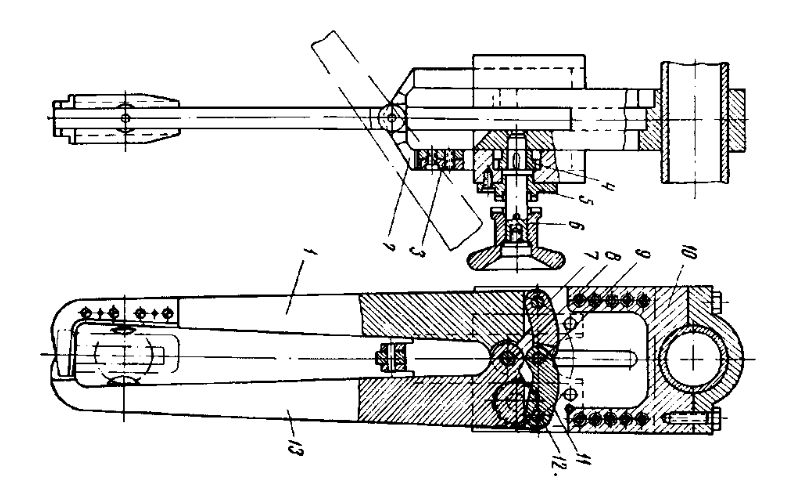


Рис. 33. Стержнедержатель изолировочного станка.

§12. Стержни обмотки ротора.

Основным исполнением асинхронных электродвигателей мощностью до 100 кВт являются двигатели с короткозамкнутым ротором. Однако для приводов с повышенным пусковым моментом применяют двигатели с фазным ротором. В единой серии двигатели с фазным ротором мощностью до 100 кВт выпускают с катушечными обмотками ротора, описанными в §9. Асинхронные двигатели большей мощности изготовляют со стержневыми обмотками. Кроме того, со стержневыми обмотками выпускают асинхронные двигатели кранового типа, где исполнение с фазным ротором является основным.

Стержневые обмотки ротора состоят из стержней, которые вставляются в закрытые пазы с торца ротора. Обычно в пазу помещается по два стержня, хотя могут быть двигатели с четырьмя стержнями в пазу. В крупных двигателях сечение стержня прямоугольное. В крановых двигателях применяют прямоугольное сечение стержня, у которого одна узкая сторона скруглена радиусом, равным половине толщины стержня. У стержней верхнего ряда скругление обращено к наружной окружности ротора, а у нижнего – к дну паза (см. рис. 1*а*).

Обычно роторные обмотки выполняют из голых стержней, которые изолируют после гибки и формовки. Стержни вставляют в пазы с торца ротора, поэтому только одна сторона стержня может быть выгнута. Вторые стороны изгибают на роторе после того, как стержни вставлены в пазы. Напряжение в обмотке ротора обычно не превышает 500В, ввиду чего роторные стержни имеют гильзовую изоляцию.

Производство стержневой обмотки ротора начинают с правки и резки шин для стержней. Эти операции выполняют на специальном станке. Большое значение имеет точность длины отрезаемой заготовки, так как это устраняет последующую операцию подрезки концов стержней и экономит медь. Современные отрезные станки позволяют нарезать заготовки с отклонениями длины, не превышающими ± 1 мм. Затем стержни гнут.

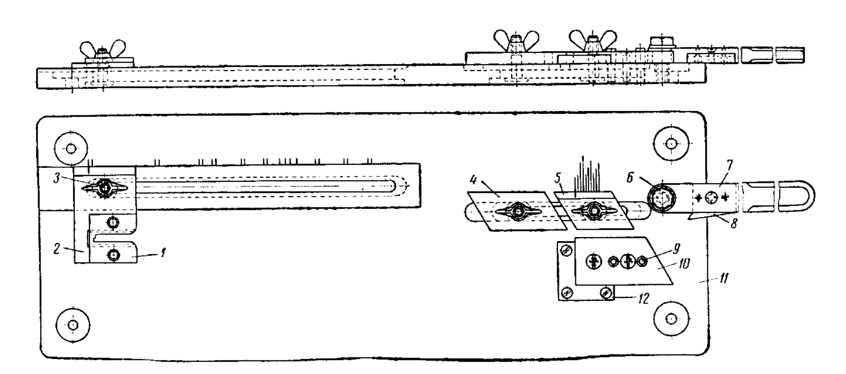


Рис. 34. Универсальное наладочное приспособление для гибки стержней ротора.

При серийном производстве приходится гнуть много роторных стержней одинаковой формы, но различных размеров. Чтобы не изготовлять для каждого типа стержня особого гибочного приспособления, применяют универсально–наладочное гибочное приспособление. Оно состоит (рис. 34) из гладкой сварной плиты 11 с продольными пазами под болты 3. На плите расположены сменные планки 4, 5 и 10, постоянная планка 2 с упором 1 и рычаг 7 со сменной накладкой 8. Сменные планки образуют паз, в который до упора 1 вкладывают две заготовки стержней. Рычаг свободно поворачивается на оси 6, формует стержни вдоль планки 10, посаженной на запрессованные в плиту штифты 9. Для разгрузки штифтов к плите привинчен угольник 12. На плите и планках нанесены риски с обозначением типов двигателей. Совмещение рисок позволяет установить необходимые размеры стержня. Щель упора 1 выполнена в виде ступеньки, что обеспечивает равную длину стержней после формовки.

При крупносерийном производстве применяют механизированные гибочные станки, исключающие ручной труд. На рис. 35 показан гибочный станок конструкции завода им. Владимира Ильича. На плите станка закреплены два пневматических цилиндра, из которых один 4 с горизонтальным, а другой 1 с вертикальным ходом поршня. Прямолинейную заготовку стержня 3 вставляют до упора в щель между сухарями штампа. Под действием цилиндра 1 пуансон опускается и выгибает лобовую часть стержня по заданному радиусу. Другой цилиндр приводит в движение зубчатую рейку 7, которая вращает коромысло 6. Коромысло своими штырями поворачивает рычаги 2 и 5 штампа 8, отгибающие прямолинейные участки стержня. Затем пуансон и рычаги штампа поворотом ручки воздухораспределителя возвращаются в исходное положение для гибки следующего стержня. Конструкция гибочного станка предусматривает гибку стержней верхнего и нижнего слоев. Для ограничения хода зубчатой рейки в зависимости от конфигурации стержня и размеров лобовой части служат два упора, закрепленные в плите станка. При переходе к стержням других размеров нужно заменить гибочные штампы.

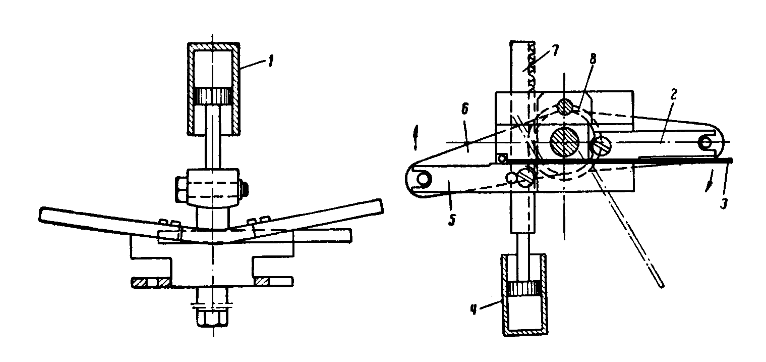


Рис. 35. Гибочный станок с пневматическим приводом.

Введение механизированной гибки стержней позволило полностью исключить ручной труд и значительно повысить производительность труда и качество работы.

После окончания гибки приступают к изолировке стержней. В крановых двигателях завода "Динамо" стержень изолируют по всей длине стеклослюдинитовой лентой толщиной 0,1 мм. вполнахлеста, пазовую часть – простынкой из стеклослюдинита толщиной 0,1 мм. в пять слоев, лобовую часть – стеклолентой толщиной 0,1 мм. Стеклослюдинитовую простынку покрывают глифталевым лаком и укатывают на стержне в горячем состоянии. На рис. 36 показан станок для укатки изоляции стержня. Пазовую часть кладут в углубление утюга 1 с электрическим подогревом, а отогнутую лобовую часть вставляют в отверстие вращающейся планшайбы 2. Сверху вращающийся стержень прижимается утюгом 3, который совершает колебательные движения вокруг оси 5. Для закладки и выемки стержней верхний утюг приподнимают вилкой 4, приводимой в движение от ножной педали 6.

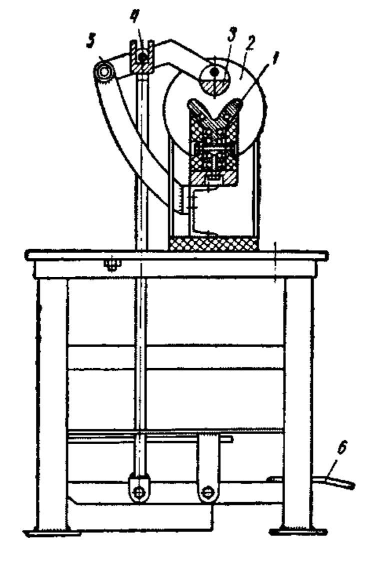


Рис. 36. Станок для укатки изоляции стержня.

После укатки пазовые части прессуют в горячих пресс – формах, в которые закладывают по несколько стержней. При нагревании клеящий лак разжижается и растворитель испаряется. Этот процесс называется выпечкой изоляции стержней. Стержни выдерживаются под прессом до остывания. В двигателях единой серии мощностью выше 100 кВт для пазовых гильз роторных стержней применяют стеклоэскапоновую лакоткань, представляющую собой стеклянную ткань, пропитанную и покрытую слоем эскапонового лака. Преимущества стеклоэскапоновой лакоткани перед хлопчатобумажной заключаются в повышенной эластичности, влагостойкости, нагревостойкости, механической прочности и стойкости против плесневых грибков. Последнее позволяет использовать машины в тропическом климате.

§13. Стержни обмотки якоря.

Стержневые обмотки якоря отличаются от катушечных тем, что они имеют только один виток. Поэтому их не наматывают на шаблонах, а выгибают в гибочных приспособлениях. При сечении провода до 30 мм^2 применяют обмоточные провода с изоляцией, а при больших сечениях – голые медные шины, которые изолируют после гибки. Обмотки из медной шины бывают неразрезными (рис. 37*а*), когда весь виток выгнут из целого провода, и разрезными (рис. 37*б*), состоящими из полувитков. У разрезных обмоток необходимо паять верхний и нижний слои проводов со стороны, противоположной коллектору, что усложняет процесс обмотки якоря. Поэтому разрезные обмотки применяют только в крупных машинах, у которых неразрезной виток был бы очень громоздким и неудобным для вкладывания в пазы якоря.
У многовитковых катушек обмотки якоря выводные концы выгибают при укладке катушек в пазы. Поэтому одни и те же катушки пригодны как для петлевых, так и для волновых обмоток. Выводные концы стержневых обмоток получают окончательную форму при гибке, ввиду чего для петлевых и волновых обмоток они различны.
Процесс изготовления стержней неразрезной обмотки якоря начинается с резки заготовок по размеру развернутой длины стержня. Затем его гнут на ребро в месте образования головки стержня. При этом ветвь петли, лежащей в верхней части паза, должна быть длиннее нижней вследствие разной длины лобовых частей.

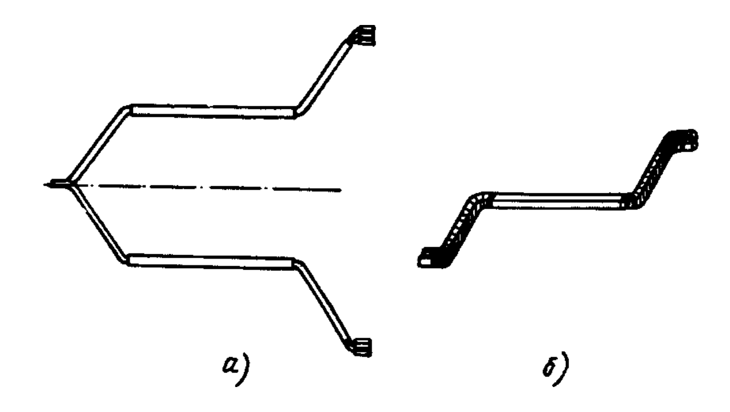


Рис. 37. Обмотки якоря: *а* – неразрезная, *б* – разрезная.

Раньше стержни гнули по одному на примитивных гибочных станках. В настоящее время стержни гнут на станках с механическим или пневматическим приводом, которые сразу выгибают комплект стержней, расположенных в одном пазу. Затем выгибают остальные переходы стержня на гибочных приспособлениях; в них стержень гнется плашмя и поэтому со значительно меньшими усилиями. На рис. 38 показано устройство гибочного станка завода "Динамо" с электрическим силовым приводом и пневматическим зажимом шин. Основанием станка служит квадратный стол 2, на плите 3 которого укреплен горизонтальный пневматический цилиндр 11 для бокового зажима шин. Под крышкой стола расположены электродвигатель 10 с червячным редуктором 8 и вертикальный вал 9 червячной шестерни, на котором на пальце 13 насажен ролик 12. Поворачиваясь, палец гнет шины на ребро при помощи сменного прижимного клина. Клин закладывают между двумя плитами приспособления, из которых нижняя плита 6 укреплена непосредственно на крышке стола, а верхняя 7 – на ввернутых в крышку шарнирах 4. Шарниры регулируются по высоте в зависимости от толщины пакета шин. Верхнюю плиту, а вместе с ней и пакет прижимают винтом 5, отводимым в сторону при подъеме плиты. Расстояние от концов шин до места загиба фиксируется подвижным упором 1.
Для работы на станке набирают пакет шин в количестве, равном числу секций в стержне. Пакет вкладывают до упора в паз, образуемый оправкой с заданным радиусом изгиба головки и сменной подвижной планкой, связанной с горизонтальным пневматическим

цилиндром. Затем опускают верхнюю плиту приспособления и при помощи винта с маховиком прижимают ее к сменной оправке и пакету шин. Пакет зажимают пневматическим цилиндром и включают электродвигатель. Червячная шестерня с вертикальным валом приходит во вращение и при помощи пальца с роликом поворачивает клин с пакетом шин на 180°, загибая головку. Когда шестерня возвратится в исходное положение, освобождают вертикальный прижим, откидывают верхнюю плиту и снимают пакет шин. После загибки шин производят остальные операции гибки одновитковых секций.

При крупносерийном производстве применяют специальные станки, которые за один ход дают готовый стержень. На рис. 39 показан станок завода "Электрик" с пневматическим приводом для пространственной гибки стержней неразрезной петлевой обмотки из медной шины сечением 2,44×10,8 мм². Гибка производится в полом цилиндре 8 с колодкой 6, который при помощи шпонок 10 неподвижно закреплен в стойках 11. На цапфах цилиндра могут вращаться зубчатые колеса 4 и 9, сцепленные с рейками 17 и 15. Рейки соединены траверсой 16 и приводятся в движение пневматическим цилиндром III.

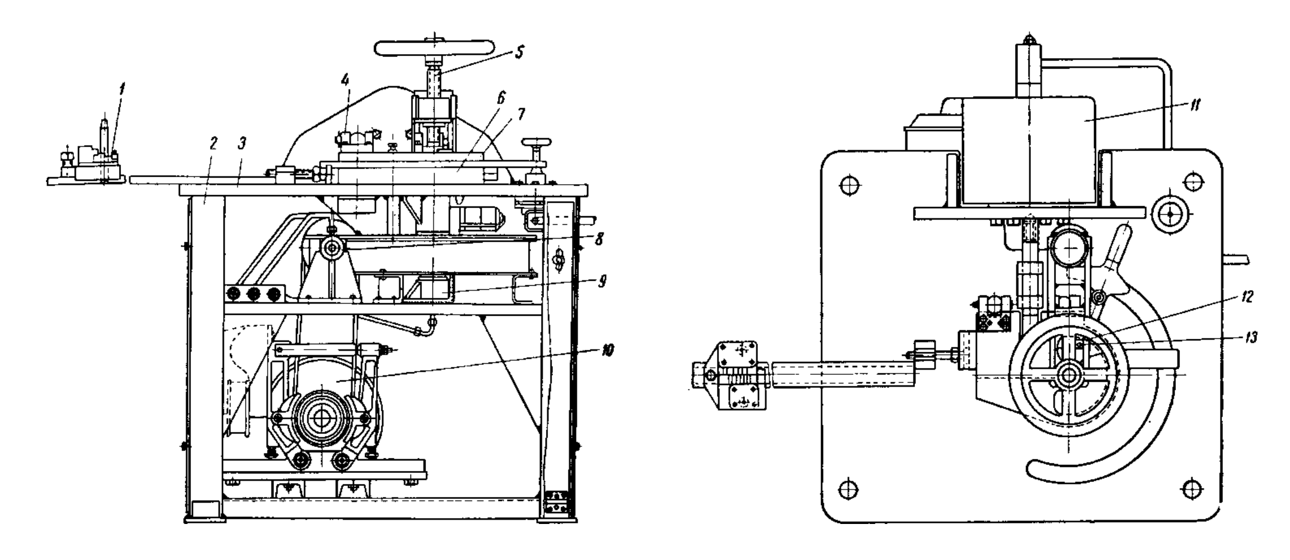


Рис. 38. Станок для гибки якорных катушек.

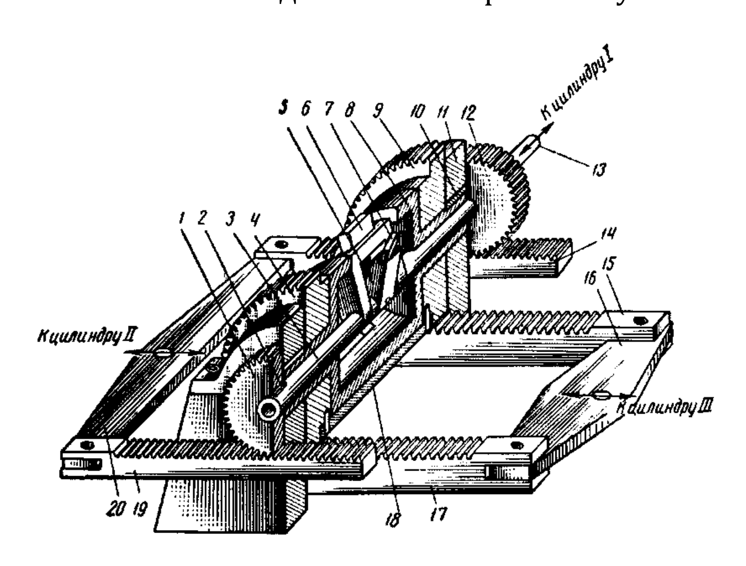


Рис. 39. Станок для пространственной гибки стержней якорных обмоток.

При движении траверсы вправо зубчатые колеса будут поворачиваться против часовой стрелки и увлекать за собой планку 18, которая скользит по окружности цилиндра. В полые цапфы цилиндра 8 вставлены шейки коленчатого вала 3, на котором установлен ограничитель 7. На концах шеек насажены на шпонках 2 зубчатые колеса 1 и 12,

сцепленные с рейками 19 и 14, которые соединены траверсой 20 и приводятся в движение пневматическим цилиндром II. При движении траверсы влево коленчатый вал повернется по часовой стрелке. Благодаря встречному вращению планки 18 и коленчатого вала 3 происходит пространственная гибка стержня на специальных шаблонах.

В станок вставляется заготовка в форме согнутой на ребро шины и зажимается между шаблоном и рычагом 5, который движется вдоль оси станка под действием пневматического цилиндра 1, соединенного с рычагом штоком 13. Корпусная изоляция стержневой обмотки обычно гильзовая из бакелизированной бумаги для класса А и микафолия для класса. В. Витковая изоляция стержней состоит из микаленты вполнахлеста.

В проводах обмотки якоря протекает переменный ток и поэтому в сечении провода появляются дополнительные потери энергии, которые зависят от его высоты. При высоте провода, превышающей так называемую *критическую*, зависящую от частоты тока в якоре, провод разделяют по высоте на два.

На рис. 40 показан разрез паза якоря с одновитковой обмоткой из разделенных проводов 1. Эти провода, являющиеся параллельными, на разрезе паза условно соединены вертикальными черточками. Обмотки с разделенными проводами особенно трудно гнуть и изолировать.

На рисунке показана изоляция из микаленты 2 вокруг каждого провода, микаленты 3 и киперной ленты 4 вокруг составного стержня обмотки, пазовой гильзы 5, прокладок из электрокартона 6. Изоляция под бандаж 9 состоит из гибкого миканита 7 и электрокартона 8. Для создания витковой изоляции каждый провод должен быть оплетен микалентой толщиной 0,1 мм. в полуперекрышку. Изоляция занимает значительную часть ширины паза. Например, если толщина провода 1,08 мм, а изоляция микалентой на обе стороны 0,4 мм, то на витковую изоляцию приходится 0,4 / 1,08 × 100 = 37% толщины меди. Между тем напряжение между смежными проводами не превышает 40В. Для сокращения затрат дорогого изоляционного материала и труда на изолировку иногда изолируют провода через один. При обмотке из разделенных по высоте проводов изолированные провода в пазу располагают в шахматном порядке. Попытки изолировать соседние провода друг от друга прокладками не увенчались успехом, так как прокладки невозможно удержать по всему периметру провода.

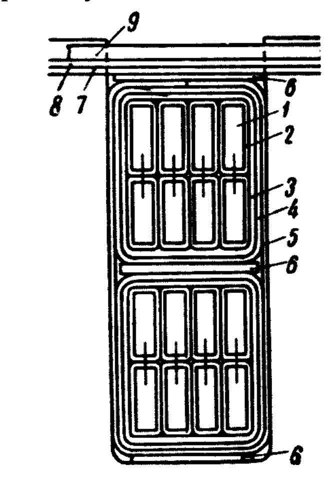


Рис. 40. Разрез паза якоря.

Контрольные вопросы.

1. Расскажите о конструкции плетеного стержня обмотки статора.
2. Какое устройство имеет станок для правки и резки медных шин?
3. Объясните устройство изолировочного станка ЛШ5.
4. Какой принцип положен в основу работы стержнедержателя станка?
5. Какие способы гибки стержней ротора вы знаете?
6. Для чего производят укатку изоляции стержня?
7. Какие бывают стержни обмотки якоря и каковы области их применения?
8. Расскажите о принципе действия станка для гибки шин на ребро.
9. Как работает станок для пространственной гибки стержней якорной обмотки?
10. Для чего разделяют стержни по высоте в пазу якоря?

Глава V
Полюсные катушки.
§14. Типы полюсных катушек.

Катушками полюсов называются обмотки возбуждения. Их наматывают на станках, изолируют и пропитывают, а в процессе сборки машин надевают на сердечники полюсов. По назначению их разделяют на катушки главных и добавочных полюсов машин постоянного тока и катушки полюсов синхронных машин. Первые являются неподвижными, а вторые устанавливаются на вращающемся роторе. Действие центробежных сил на вращающуюся катушку предъявляет определенные требования к ее конструкции и исполнению.
Основное технологическое различие катушек определяется формой и размерами провода, из которого они намотаны. Для полюсных катушек применяют изолированные провода круглого (до 7 мм^2) и прямоугольного (до 16 мм^2) сечения. При сечении провода более 20 мм^2 катушки наматывают из голых медных или алюминиевых шин. Катушки из изолированного провода и из шин резко отличаются по технологии намотки и изолировки. В катушках из изолированного провода межвитковой изоляцией служит изоляция самого провода. Однако в отдельных местах, как, например, в переходах между слоями, она нуждается в усилении путем обматывания лентами или вкладывания прокладок из листовых изоляционных материалов. Катушки из голых шин могут быть намотаны плашмя или на ребро, а межвитковую изоляцию выполняют в процессе их изготовления. В отличие от шинных катушек обмотки якоря, у которых каждый провод обматывают лентой по всему контуру витка, полюсные катушки из голых шин не являются такими трудоемкими. В катушках, намотанных на ребро, изоляцию между витками вставляют в виде прокладок. При намотке плашмя межвитковую изоляцию наматывают на станке в процессе намотки самой катушки, поэтому не требуется затраты дополнительного времени.

§15. Катушки из изолированных проводов.

Для намотки катушек из тонкого провода применяют легкие быстроходные станки со скоростью вращения до 5000 об/мин. Их всегда снабжают счетчиками оборотов, по которым отчитывается число витков. Сделав требуемое число оборотов, а также при обрыве провода станок автоматически останавливается. Станки оборудуют автоматическими приспособлениями, вкладывающими бумажные прокладки между слоями катушки. Все быстроходные станки имеют механизм автоматической раскладки, который укладывает провода правильными рядами. Эти приспособления значительно облегчают работу и позволяют осуществить одновременное обслуживание одним рабочим нескольких станков. На рис. 41 показана кинематическая схема полуавтоматического станка для рядовой многослойной намотки катушек из круглого провода диаметром 0,07 – 0,6 мм. Шпиндель снабжен устройством регулировки скоростей в пределах 850 – 4900 об/мин. Станок имеет два сблокированных движения: вращение шпинделя и периодическое возвратно–поступательное движение механизма раскладки. Привод станка осуществляется от электродвигателя 13. Механизм раскладки работает от вала шпинделя через зубчатые передачи и фрикционную передачу, состоящую из диска 3 и ролика 1, положение которого относительно диска может изменяться вращением рукоятки 2. Зубчатые колеса 4 и 9 вращаются в разные стороны. Соосные шестерни 6 и 8 поочередно входят в зацепление с ними и сообщают рейке 5 механизма раскладки возвратно–поступательное движение. Переключение шестерен производится упорами 10, установленными на штанге через систему рычагов механизма реверса 7. Упоры устанавливают в соответствии с длиной наматываемой катушки, а шаг раскладки определяется положением ролика 1 относительно диска 3. Включение станка производится педалью 12.

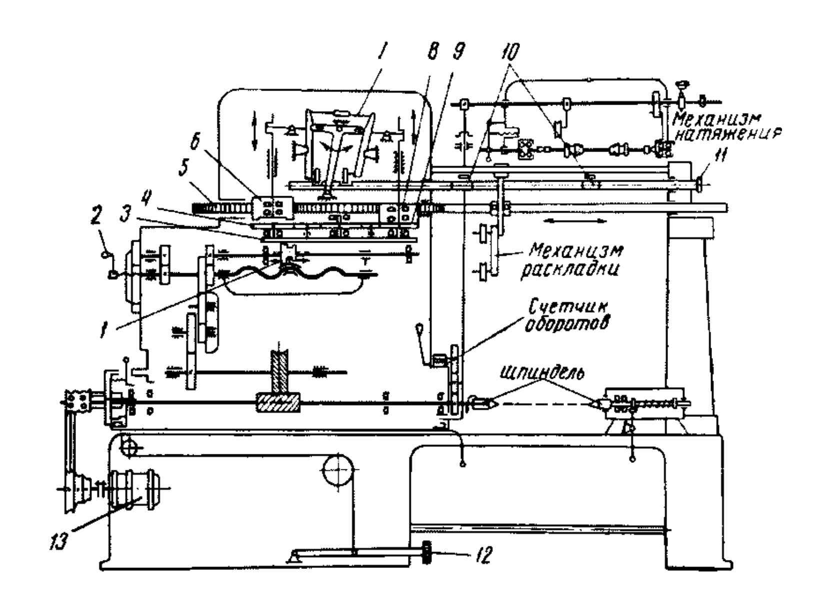


Рис. 41. Кинематическая схема станка для намотки катушек.

В старых типах машин катушки полюсов из тонкого провода наматывали на каркасы, представляющие собой коробки из листовой стали, склепанные или сваренные. Каркас надежно защищал витки катушки от повреждения сердечником полюса, но затруднял пропитку катушки и не позволял осуществить непрерывную изоляцию ее наружной поверхности. Поэтому в современных машинах катушки наматывают на шаблоны из твердых пород дерева или алюминия. Шаблон (рис. 42) состоит из сердечника 1 и двух боковин 2. Сердечник разрезан на две части в диагональной плоскости, что облегчает съем катушки после намотки. В боковинах сделаны вырезы, в которые закладывают ленту для скрепления витков катушки перед снятием ее с шаблона.

Для намотки многовитковых полюсных полюсной катушки катушек применяют почти исключительно круглые провода с эмалевой изоляцией. Катушка после намотки должна быть жесткой, и витки ее не должны рассыпаться. Между тем пропитка катушек из эмалированных проводов часто сопровождается нарушением эмалевой изоляции и занимает много времени.

Наиболее прогрессивным является провод с особой эмалевой изоляцией, которая спекается при нагреве до температуры 130 – 160°С в течение 15 – 20 мин. Этот провод не требует пропитки. Для намотки таких катушек нужны намоточные станки, обеспечивающие плотную рядовую намотку с корректировкой допусков по диаметру обмоточного провода и толщине его изоляции. При намотке катушек на шаблон прямоугольного сечения плотность прилегания витков в разных точках периметра шаблона неодинакова. Наибольшая плотность будет в углах шаблона, а наименьшая – в середине боковых сторон катушки, где провода стремятся выпучиваться. Поэтому при расчете обмоточного пространства шаблона необходимо учитывать коэффициент распушения. При сплошной намотке катушек из тонкого провода без соблюдения правильных рядов площадь поперечного сечения F катушки на боковой стороне шаблона определяется по формуле:

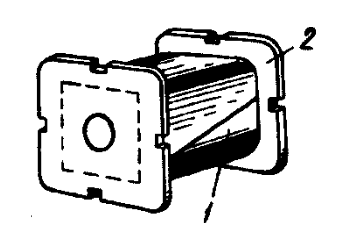


Рис. 42. Намоточный шаблон для полюсной катушки.

$$F = n\text{к} \times d^2\text{из} \times k_1 \quad (1)$$

где nк – числа витков в катушке; dиз – диаметр изолированного провода; k_1 – коэффициент распушения, для катушек из эмалированного провода его берут 1,1, из провода с волокнистой изоляцией – 1,05.

При рядовой намотке толщина b и высота h сечения катушки равны:

$$b = n_1 \times d\text{из} \times k_2 \quad h = n_2 \times d\text{из} \times k_2$$

где n_1 – число слоев катушки, n_2 – число проводов в слое, dиз – диаметр круглого провода или размер стороны прямоугольного изолированного провода, мм., k_2 – коэффициент распушения для круглого провода его берут 1,04, для прямоугольного – 1, 07.

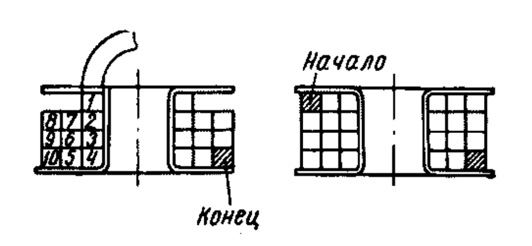


Рис. 43. Схема намотки полюсной катушки.

В катушках из изолированного провода вывод от начала намотки на наружную поверхность катушки выполняют медной лентой, которую припаивают к первому витку и огибают им сечение катушки. Под медную ленту подкладывают изоляцию из электрокартона и лакоткани. При большом сечении провода медную ленту приходится выбирать очень широкой для получения необходимого сечения. Толщину ленты обычно берут не более 1 мм., так как при большей толщине ленту трудно выгибать, и она займет много места по высоте катушки.

В катушках из изолированного провода прямоугольного сечения можно избавиться от выводной ленты, если использовать для намотки катушки особый прием, показанный на рис. 43. Сначала отматывают от бухты обмоточной меди провод длиной, равной развернутой длине витков одного горизонтального ряда катушки. Отмотанный провод свертывают в спираль и привязывают к боковой стороне намоточного шаблона. Затем заводят провод в намоточный шаблон и начинают наматывать витки в последовательности, обозначенной на рисунке цифрами 1 – 10. При этом один горизонтальный ряд катушки остается не заполненным проводами. Чтобы витки не попадали в это пространство, к боковой стороне шаблона прикрепляют дистанционные прокладки. После этого отрезают провод от бухты, разматывают спираль с привязанным к шаблону проводом и при вращении шаблона в противоположную сторону доматывают этим проводом витки в оставшееся свободное место, вынув предварительно дистанционные прокладки. Таким образом, оба выводных витка оказываются на поверхности катушки и делать вывод при помощи припайки медной ленты не требуется. Отсутствие места пайки внутри катушки повышает ее надежность в работе. Нельзя считать число витков катушки по числу сечений проводов в разрезе, потому что слои катушки представляют собой не кольцевые замкнутые витки, а спирали правого и левого хода, чередующиеся в соседних слоях. Сделав один виток вокруг шаблона, мы занимаем два сечения провода в разрезе катушки. Следовательно, в каждом слое одно сечение провода является лишним, не образующим витка. Таким образом, действительное число витков меньше, чем видно на разрезе катушки, на число слоев. Так, например, катушка, показанная на рис. 43, имеет не 12, а только 9 витков. Это обстоятельство необходимо учитывать при конструировании катушек и намоточных шаблонов. После снятия с шаблона многовитковые катушки из тонкого провода обматывают лентой по всему контуру для скрепления витков. В машинах на повышенное напряжение и с противосыростной изоляцией изолировку лентами применяют и для жестких катушек для снижения токов утечки и повышения влагостойкости катушек. Сначала витки катушки скрепляют асбестовой лентой, затем катушку изолируют микалентой. Снаружи микаленту защищают киперной лентой. Изолировка полюсных катушек лентой является очень трудоемкой операцией. В процессе изолировки ролик с лентой два раза перекладывают из одной руки в другую, чтобы провести его через внутреннее окно катушки. Особую трудность представляет изолировка катушек дополнительного полюса, так как рука изолировщицы не проходит в узкое окно катушки и приходится пользоваться проволочными крючками.

Производительность труда при изолировке повысилась при внедрении изолировочных станков (рис. 44*а*). Сначала эти станки применялись на заводах автотракторного электрооборудования для изоляции небольших катушек, а затем и на других предприятиях для изолировки катушек машин средней мощности. Катушку 3 кладут на столик 1 и включают станок, поворачивая ее поочередно всеми четырьмя сторонами. При работе станка разрезное кольцо 2 вращается вокруг стороны катушки, наматывая на нее ленту.

На рис. 44*б* изображена схема работы станка. Лента с ролика 7 проходит через ролики 5, цилиндрический нож 6 и попадает на разрезное кольцо 2 станка, на поверхности которого расположены ролики 4. Конец ленты закрепляют на катушке 3, которую вводят через прорезь кольца 2. При вращении кольца лента наматывается одновременно на его обод и на изолируемую катушку. После того как на кольце соберется необходимое количество ленты для изолировки катушки, ленту перерезают поворотом цилиндрического ножа 6 (рис. 44*в*), и продолжают изолировку катушки. В станках для изолировки тяжелых катушек в стол станка врезают ролики, выступающие над его поверхностью. Ролики облегчают передвижение катушки по столу станка. Полюсные катушки крупных машин постоянного тока изолируют вручную. Раньше для изолировки катушку ставили на четыре жестких подставки на стол изолировочного верстака. В процессе изолировки подставки приходилось несколько раз передвигать. Это требовало затраты больших усилий, так как вес катушки часто превышал 100 кг.

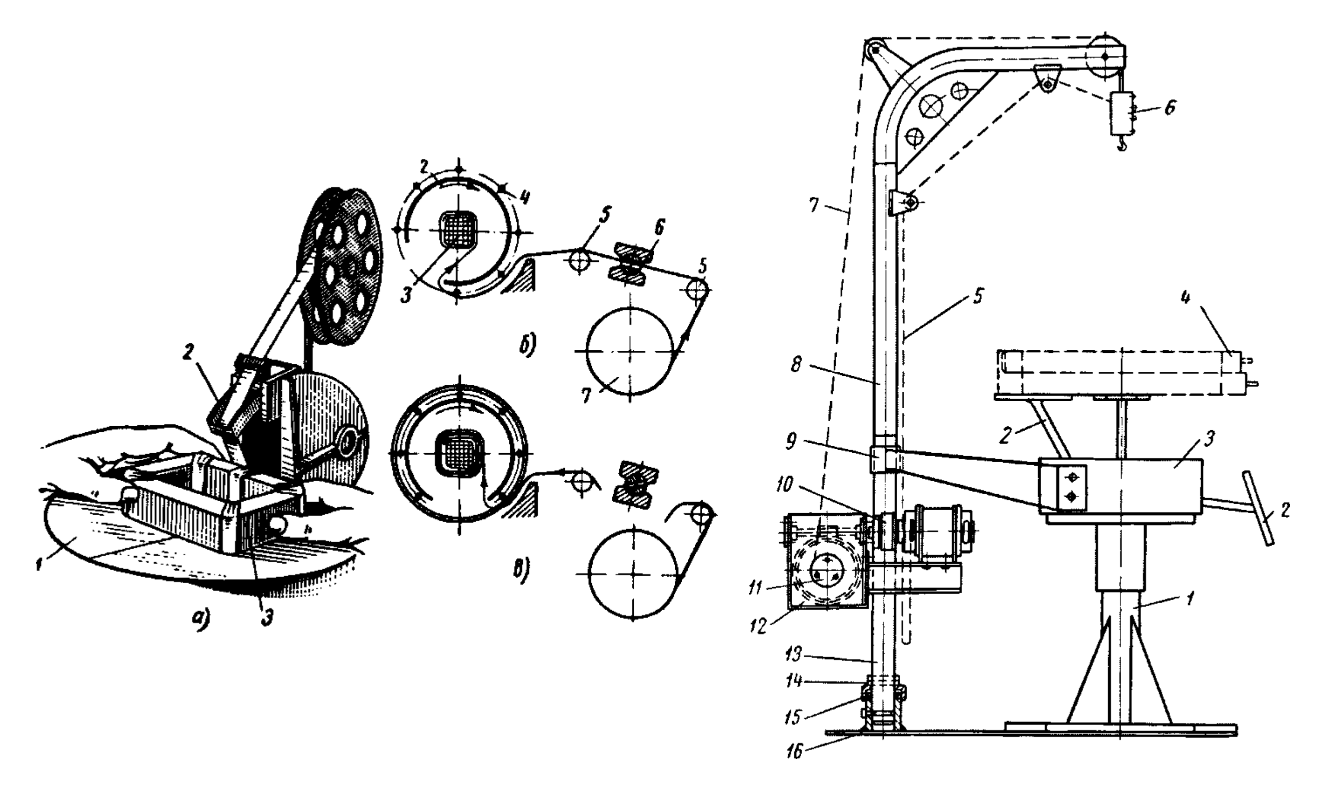


Рис. 44. Изолировка полюсной катушки: *а* – изолировочный станок, *б* – схема работы станка, *в* – перерезание ленты.

Рис. 45. Стойка для изолировки катушек.

Механизированная стойка для изолировки катушек (рис. 45) освобождает от тяжелого труда и повышает производительность изолировочных работ. На плите 16 укреплены стойка 1 для катушек и поворотный кран с лебедкой. Катушку 4 при помощи крана кладут на четыре лапы 2, которые шарнирно соединены с поворотной звездочкой. Стойки лап опираются на внутреннюю поверхность обода чаши 3. В одном месте обода сделана прорезь, в которую проваливается поочередно одна из лап, освобождая место для изолировки этого участка катушки. В процессе изолировки звездочку поворачивают на шарикоподшипниках.

При переходе к следующему участку лапу 2 снова поднимают и она опирается на обод чаши 3. Балка крана состоит из трех частей: вала 13, прямой трубы 8 и изогнутой трубы, сваренной с прямой. В месте изгиба трубы вварена укосина для повышения ее жесткости. Подъем и снятие катушек со станка производится грейфером, подвешенным к крюку крана. При натяжении троса 7 он зажимает катушку, а при ослаблении натяжения освобождает ее. Крюк крана через грузовой трос, проходящий через два ролика и закрепленный на барабане лебедки, управляется пускателем 6, который включают при помощи шнура 5.
Червячный редуктор 12 состоит из червячного винта и шестерни. Он приводится от электродвигателя, соединенного с осью червяка муфтой 10. Нижний конец крана через кольцо 14 опирается на шарикоподшипник 15. Второй опорой служит втулка 9, скрепленная с чашей 3 двумя планками.

§16. Шинные катушки намотанные плашмя.

Шинные катушки, намотанные плашмя, применяют на главных полюсах машин постоянного тока с последовательным возбуждением. Такая катушка (рис. 46*а*) имеет ступенчатую форму и состоит из двух слоев шин, расположенных один над другим. В качестве изоляции между витками в каждом слое служит асбестовая бумага 1, которая в процессе намотки катушки сматывается с ролика, установленного под шаблоном.

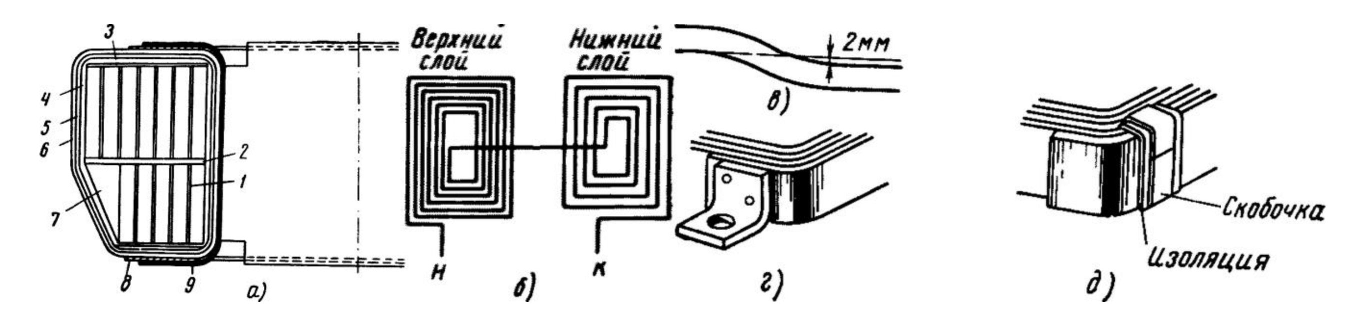


Рис. 46. Шинная катушка, намотанная плашмя:
а – разрез катушки, *б* – схема намотки, *в* – перегиб шины, *г* – выводной патрон,
д – крепление последнего витка.

Изоляцией между слоями служит прокладка 2, состоящая из твердого миканита, оклеенного с обеих сторон асбестовой бумагой. Изоляция катушки относительно корпуса состоит из миканитовых фланцев 3, асбестовой ленты 4, микаленты 5 и киперной ленты 6. Угловые пустоты, образуемые вследствие разных чисел витков в верхнем и нижнем слоях, заполняют асбестовой замазкой 7. Для предохранения изоляции катушки от протирания о полюс служит каркас 9 из тонкой листовой стали, который вставляют в отверстие катушки перед надеванием ее на полюс и отгибают края на катушку. Для защиты изоляции от проколов служат фланцы 8 из картона.
Для определения толщины катушки надо сумму толщин медных шин и изоляционных материалов в слое умножить на коэффициент распушения $k_з$, который выбирают в зависимости от толщины шины. При толщине 0,3 – 1,16 мм. $k_з$= 1,2; при толщине 1,25 – 1,59 мм. $k_з$ = 1,1 и при толщине 2,1 мм. $k_з$ = 1,06.
Чтобы определить число сечений шин в разрезе катушки, необходимо построить схему намотки верхнего и нижнего слоев. Как видно из схемы (рис. 46*б*), число сечений на правой и левой сторонах неодинаково и поэтому катушка получается несимметричной относительно оси.
Если посчитать по схеме число фактических витков, то оно оказывается равным 11, а не 12, как это получается при суммировании сечений шин на чертеже разреза катушки (рис. 46*а*). На схеме намотки видно, что выводные концы получаются расположенными в наружных витках катушки.

Очевидно, что это будет только при четном числе слоев, поэтому не следует применять катушек с нечетным числом слоев. Для намотки шинных катушек применяют мощные тихоходные намоточные станки. На боковых сторонах намоточного шаблона делают углубления для того, чтобы путем подбивания шин устранять их выпучивание.
На рис. 47 показан станок для намотки шинных катушек. Шаблон 1 укрепляют на стойке, привинченной болтами к планшайбе 2 станка. Медная шина 4 идет со стойки и проходит через зажимное приспособление 5, укрепленное на суппорте станка. Под суппортом помещается ролик 7 с асбестовой бумагой, которая наматывается на шаблон вместе с медной шиной и создает изоляцию между витками. При намотке шинных катушек суппорт остается неподвижным. Его используют при намотке на станке катушек из прямоугольного изолированного провода. На этом же станке можно наматывать небольшие катушки на ребро. Для этого станок снабжен рычагом 3, который может вращаться вокруг вала 6 и направлять шину при загибе ее на углах шаблона. Станок оборудован тормозом, и при остановке планшайбы медная шина остается под натяжением. Включение станка производится ножной педалью.

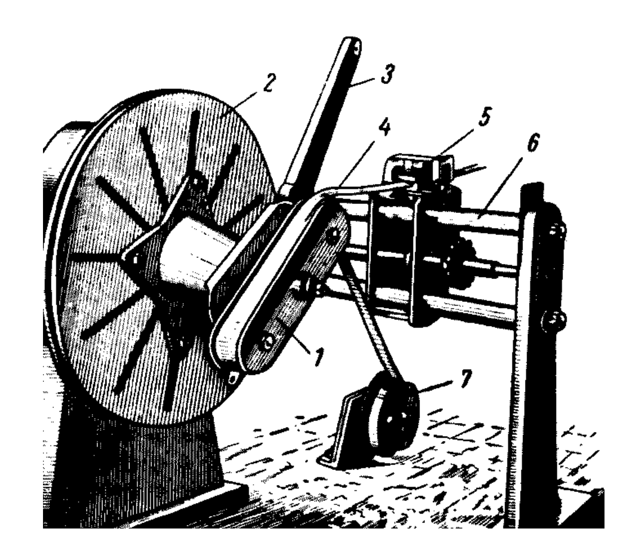


Рис. 47. Станок для намотки шинных катушек.

Для изготовления катушки, изображенной на рис. 46*а*, необходимо: перегнуть шину на ребро в месте перехода (рис. 46*в*) на расстоянии 200 – 300 мм. от конца; намотать верхний слой катушки с изоляцией между витками; скрепить последний виток с предпоследним скобочкой из жести (рис. 46*д*), запаять концы скобочки и отрезать шину от бухты; перевернуть шаблон другой стороной; вставить изоляционную прокладку между слоями; приварить (переносным сварочным аппаратом) конец шины к месту перегиба; намотать второй слой катушки с изоляцией между витками; скрепить последний виток с предпоследним скобочкой из жести, запаять концы скобочки и отрезать шину от бухты; испытать катушку на межвитковые замыкания; изготовить и припаять выводные патроны (рис. 46*г*); заполнить угловые пустоты асбестовой замазкой 7 (см. рис. 46*а*), положить миканитовые фланцы 3 сверху и снизу катушки, изолировать катушку асбестовой лентой 4 и поверх нее временной полотняной лентой в стык; компаундировать катушку первый раз и снять наплывы битумной массы вместе с временной лентой; прессовать катушку в горячем состоянии; испытать катушку на межвитковые замыкания; изолировать катушку микалентой 5, киперной лентой 6 и временной полотняной лентой; компаундировать катушку второй раз и снять наплывы битумной массы вместе с временной лентой; покрыть поверхность катушки покровным лаком при помощи кисти; прессовать катушку в горячем состоянии; очистить выводные патроны от битумной массы и промыть их бензином; нанести обозначения выводов катушек красной краской; испытать катушку на межвитковые замыкания и проверить размеры катушки по чертежу.

§17. Шинные катушки намотанные на ребро.

Шинные катушки, намотанные на ребро, применяют на дополнительных полюсах машин постоянного тока и в синхронных генераторах с явно выраженными полюсами. Эти катушки более плотны и компактны, чем другие типы полюсных катушек. В синхронных генераторах это особенно важно, потому что центробежная сила передается виткам катушки через большую опорную плоскость. Это исключает возможность межвитковых замыканий при вращении ротора.

В изготовлении эти катушки удобны тем, что процесс намотки можно вести, не считая витков, так как потом спираль можно разрезать на отдельные катушки. Это значительно повышает коэффициент использования намоточного станка. Катушки, намотанные на ребро, – однослойные, что способствует хорошему и равномерному охлаждению всех витков. Катушка синхронного генератора показана на рис. 48. Изоляцией от корпуса являются два фланца 1 из текстолита и несколько слоев микрофолия 2, которым обернут сердечник полюса. Наружная поверхность катушки открыта для лучшего охлаждения. Чтобы увеличить поверхность охлаждения, наружной стороне 3 витков придали форму треугольника. Изоляция 4 между витками состоит из прокладок асбестовой бумаги, пропитанных в битуме.

Катушки, намотанные на ребро, имеют два исполнения: двухрадиусные с двумя закруглениями под углом 180° и четырехрадиусные с четырьмя закруглениями под углом 90°. Первые применяют для дополнительных полюсов машин постоянного тока и для синхронных явнополюсных генераторов, вторые – для главных полюсов тяговых двигателей постоянного тока. Чтобы намотать четырехрадиусные катушки, требуется намоточный станок более сложной конструкции. Такая намотка трудно осуществима при загибе шин с малым радиусом закругления. Технология намотки катушек на ребро сложнее, чем намотки плашмя. Чтобы согнуть шину на ребро, необходимо в несколько раз большее усилие, чем для изгиба ее плашмя. Поэтому требуется большая мощность станков. При изгибе на ребро внутренняя сторона закругления шины утолщается. Эти утолщения снимают опиливанием или фрезерованием каждого закругления с обеих сторон. Для направления шины служат специальные направляющие, расположенные в непосредственной близости к месту ее загиба. При намотке на шаблон шина должна занимать положение, касательное к радиусу закругления, а шаблон должен совершать вращательные и поступательные движения.

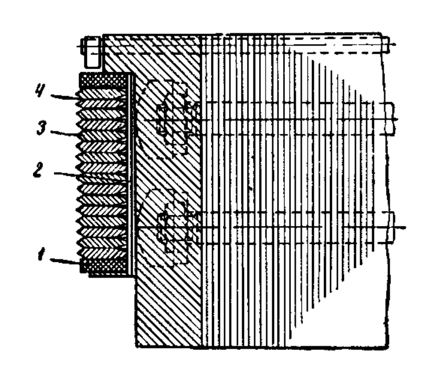


Рис. 48. Катушка синхронного генератора.

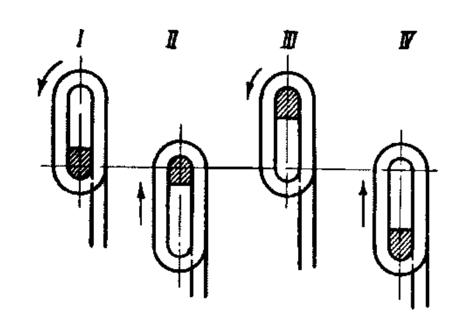


Рис. 49. Схема намотки катушки на ребро.

При намотке одного витка (рис. 49) намоточный шаблон совершает следующие движения (на чертеже одна сторона шаблона заштрихована): шаблон начинает поворачиваться вокруг центра заштрихованной стороны на 180° и приходит в положение II; шаблон движется поступательно до тех пор, пока незаштрихованная сторона не придет в положение заштрихованной (III); шаблон поворачивается на 180° (положение IV); шаблон совершает поступательное движение и приходит в исходное положение I.

На рис. 50*а* показана конструкция намоточного станка завода "Электросила" для намотки на ребро катушек крупных электрических машин. На планшайбе станка на тумбах 7 установлена плита 4, на которой смонтированы рабочая оснастка и отдельные приспособления. В центре планшайбы закреплена шестерня 2. В зацеплении с нею находится фасонная шестерня 8, состоящая из двух полуокружностей и двух реек. Она имеет продольный паз, которым надета на цапфу, закрепленную в плите. Во время работы станка шестерня 8 совершает попеременно вращательные движения на 180° и прямолинейные движения на длину реек, скользя своим основанием по плите.
На шестерне 8 укреплена оправка 9, на которую наматываются витки катушки. Конец шины захватывается зажимом 6, укрепленным на оправке. Медная шина сматывается с бухты, пропускается через натяжное устройство 10 и затем проходит через планку 1 хобота. Хобот служит для прижима шины к оправке во время намотки.
Под действием груза 18 (рис. 50*б*), который подвешен на тросе, перекинутом через блок, штанга 15 с головкой 14 хобота имеет постоянное натяжение в направлении стрелки В. Натяжение передается через пару цилиндрических шестерен 17 и реечное зацепление 16. В головке хобота укреплена сменная закаленная планка 12, охватывающая медную шину с двух сторон. Шина все время прижимается к оправке под действием усилия, зависящего от веса груза 18. В вертикальном направлении шина прижимается гайкой 13.

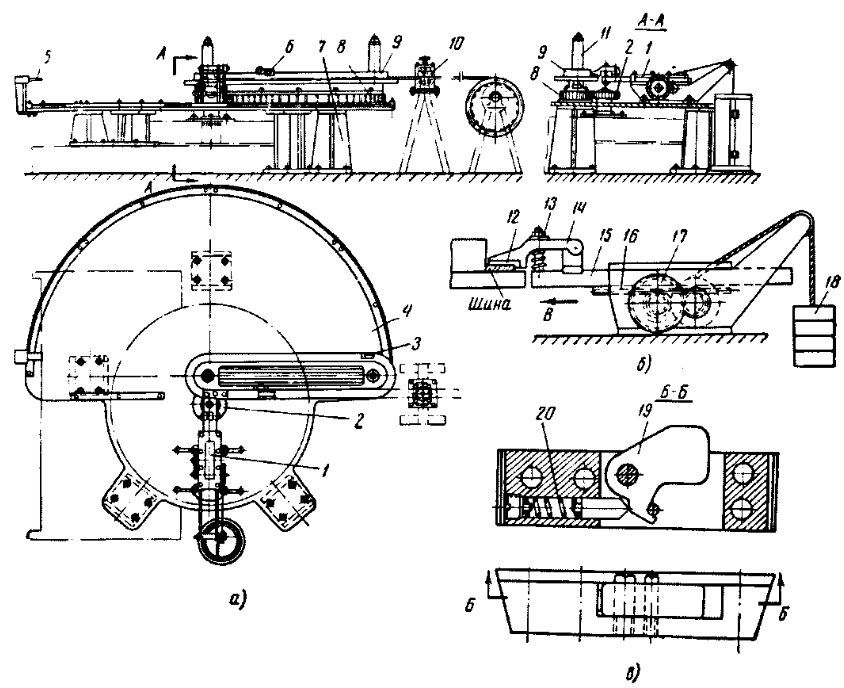


Рис. 50. Намотка катушки на ребро:
а – намоточный станок, *б* – направление шины, *в* – фиксатор.

Чтобы шина не выпучивалась после образования загиба, применены фиксаторы 3 (рис. 50*а*). Зуб 19 фиксатора (рис. 50*в*) врезан в основание оправки, и рабочая часть его выступает над ней. При движении оправки шина надавит на фиксатор и он опустится. Пройдя под головкой хобота и достигнув паза в головке, фиксатор выталкивается пружиной 20 и не позволяет шипе отойти от оправки. Для поднятия намотанного витка, который должен освободить место на оправке для следующего витка, служит клин 5 (рис. 50*а*). При прямолинейном движении оправки клин попадает под виток и отделяет его от основания оправки. При повороте оправки виток поднимается на толщину клина. В дальнейшем виток смещается головкой хобота вверх по оправке и под действием следующих витков переходит на колонки 11. Зажим 6 необходим только в начале намотки, так как в дальнейшем шина удерживается на оправке при помощи охватывающих ее витков.

Намотка катушки производится в такой последовательности. Наматывают число витков, превышающее число витков катушки на два–три витка. Затем перерезают шину и снимают намотанную катушку с требуемым числом витков. Оставшиеся на оправке два – три витка удерживают конец шины при намотке следующей катушки. По окончании бухты меди к концу шины приваривают начало шины от следующей бухты и продолжают намотку. Чтобы избежать задиров меди при прохождении ее под планкой головки хобота, на ней устанавливают масленку с фитильной смазкой шины машинным маслом. Поверхность плиты смазывают консистентной смазкой. На станке можно наматывать катушки с разными размерами. Для этого в каждом случае надо заменять фасонную шестерню и оправку, а также прижимную планку головки хобота в соответствии с размерами сечения шины. Управление станком кнопочное и осуществляется одним рабочим. После намотки выправляют неровности на поверхности витков и рихтуют катушку. Ее надевают на оправку и ударами стальной кувалды через фибровую пластину выравнивают витки. Для полного прилегания витков катушку подвергают холодной прессовке на оправке под гидравлическим прессом. Под нижний виток и поверх верхнего витка кладут массивные стальные кольца, между которыми и прессуют витки катушки. С боковых сторон витки поджимают прессующими угольниками.

Межвитковая изоляция состоит из полосок асбестовой бумаги, которые на 2 мм. шире, чем медная шина. Их нарезают рычажными ножницами. Катушку укладывают на стеллаже и растягивают ее в виде спирали. На обе стороны катушки наклеивают полоски асбестовой бумаги глифталевым лаком, смещая стыки отдельных полосок. Поверхность изоляции также покрывают лаком и сушат на воздухе.

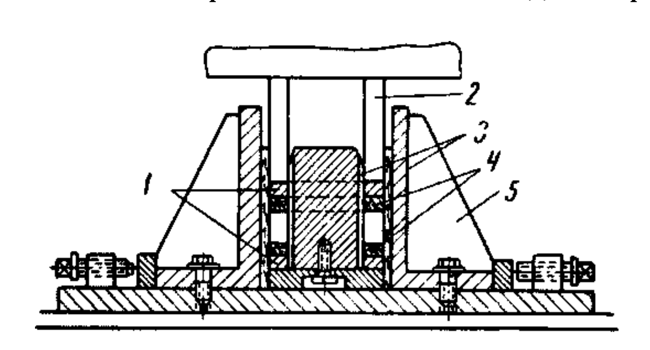


Рис. 51. Прессовка катушки намотанной на ребро.

Чтобы придать катушке окончательные размеры и склеить витки, ее запекают. Для этого на плиту пресса кладут стальное кольцо 1 (рис. 51), на него изоляционную прокладку 4 и надевают катушку на оправку, изолируя ее от оправки прокладками 3 из стеклотекстолита. Над катушкой кладут изоляционную прокладку 4 и стальное кольцо 1. Опускают верхнюю плиту пресса, пока колонки 2 не будут зажаты. Через витки катушки пропускают ток, нагревая ее до температуры 180 – 200°С. Во время нагревания катушку прессуют сверху колонками 2, а с боков – угольниками 5, изолированными от витков прокладками 3. Затем выключают ток и прессуют катушку, пока ее высота не будет равна высоте, указанной на чертеже. После остывания катушки снимают давление пресса, освобождают ее от прессующих приспособлений и снимают с оправки. Выступающие края асбестовых прокладок между витками снимают скребками и боковые поверхности катушки покрывают электроэмалью. Для устранения операции снятия утолщений в местах закруглений на заводе "Электросила" был разработан специальный профиль медных шин со снятыми фасками на внутренней стороне закругления (см. рис. 48). При этом утолщение не выходит за пределы описанного прямоугольника, и снимать его не приходится. Кроме того, применение специального профиля имеет ряд достоинств. Катушка полюса мощного гидрогенератора весит 500 – 600 кг, поэтому она состоит из 6 – 8 секций, которые после намотки сваривают. При этом много времени уходило на пригонку концов шин. Чтобы получить целое число витков, приходилось при сварке обрубать концы шин значительной длины. При применении специального профиля медных шин намотку ведут не отдельными секциями, а непрерывно. Конец одной бухты сваривают с началом другой в процессе намотки. Это дает экономию на один генератор около 1 т. меди и 1000 ч. рабочего времени.

Контрольные вопросы.
1. Объясните кинематическую схему намоточного станка для катушек.
2. Как можно определить ширину и толщину полюсной катушки?
3. Каков принцип работы станка для изолировки полюсных катушек?
4. Из чего состоит изоляция шинной катушки, намотанной плашмя?
5. Из каких операций состоит процесс изготовления шинной катушки?
6. Объясните схему работы станка для намотки катушки на ребро.
7. Какие достоинства имеют катушки полюсов, намотанные на ребро?
8. Какие меры принимают для устранения утолщений шин при загибке на ребро?

Глава VI
Чертежи и схемы обмоток.
§18. Общие сведения о чертежах.

Производство каждой новой машины начинается с ее конструирования, в процессе которого выполняют расчеты машины, разрабатывают конструкцию и изготовляют рабочие чертежи со спецификациями. Конструкторской подготовкой производства на заводе занимается отдел главного конструктора (ОГК), состоящий из расчетного и конструкторского бюро. Конструкторская подготовка производства новой машины состоит из следующих этапов: составление технического задания; выполнение технического проекта; изготовление рабочих чертежей; изготовление опытного образца машины.

Техническое задание на новую машину включает ее номинальные данные (мощность, скорость вращения, напряжение), а также форму исполнения, способ защиты, особые требования и т. п. Технический проект содержит расчеты машины и проектные чертежи общих видов.

Рабочие чертежи разделяют на чертежи общих видов, сборочные и чертежи деталей. Чертежи выполняют на прозрачной бумаге. Они являются основными чертежами (оригиналами) и хранятся в архиве. Для работы в производственных цехах и отделах с них снимают копии методом светокопирования или фотографирования.

Чертежи выполняют линиями разной толщины и разных видов. Контур детали и видимые линии переходов проводят сплошными линиями, толщину которых берут в зависимости от величины детали и сложности изображения. Линии невидимого контура, находящегося с противоположной стороны детали или внутри ее, выполняют штриховыми линиями. Осевые и центровые линии проводят штрихпунктирными тонкими линиями. Линии обрыва проводят волнистыми сплошными линиями. Чтобы лучше показать внутреннее устройство полых деталей, пользуются разрезами. Разрезом называется условное изображение предмета, мысленно рассеченного плоскостью. На разрезе часть предмета, расположенную между наблюдателем и секущей плоскостью, условно удаляют и вычерчивают то, что лежит в секущей плоскости (сечение), и то, что расположено за ней. При выполнении разрезов сечения выделяют штриховкой.

Размеры на чертежах указывают размерными линиями и размерными числами. Размерные линии оканчиваются стрелками, упирающимися в выносные и контурные линии. Над размерными линиями пишут числа, выражающие размеры в миллиметрах для линейных размеров и в градусах, минутах и секундах для угловых размеров. Размерное число показывает так называемый номинальный размер детали. При сборке сопрягаемые детали должны подходить одна к другой без дополнительной обработки. Такая взаимозаменяемость деталей достигается получением совершенно одинаковых размеров деталей, а выполнением этих размеров с отклонениями в заданных пределах. Разность между наибольшим и наименьшим предельным размером детали называется допуском.

Допуски указывают на чертежах около номинальных размеров. Не всегда предмет может быть изображен на чертеже в натуральную величину.

Иногда он настолько мал, что при таком изображении трудно было бы рассмотреть на чертеже его форму и проставить все необходимые размеры, а иногда так велик, что для его изображения потребовался бы слишком большой чертеж, неудобный для пользования в производстве. Такие предметы изображают с увеличением или уменьшением по сравнению с их действительными размерами и на чертежах обозначают масштабы.

Масштаб – это отношение линейных размеров изображения на чертеже к размерам самого предмета. Наиболее употребительными являются масштабы уменьшения М1 : 2, М1 : 5 и масштабы увеличения М2 : 1, М5 : 1. Если предмет вычерчен в натуральную величину, то на чертеже обозначают масштаб М1 : 1. Масштаб чертежа указывают в специальной графе основной надписи чертежа. Иногда отдельные изображения вычерчивают в разных масштабах. Тогда около каждого такого изображения проставляют масштаб, в котором он выполнен. Независимо от масштабов чертежа размерные числа выражают действительные, а не уменьшенные или увеличенные размеры детали. Для изготовления изделия нужны не только размеры детали, но и другие данные, определяющие качество изделия, например материал, из которого деталь должна быть изготовлена, его термообработка, шероховатость поверхности детали, гальванические и другие покрытия. Материал детали указывают в спецификации чертежа, остальные требования обозначают словами или условными знаками на чертеже. Для обозначения шероховатости поверхности установлены *классы чистоты*. Чем выше номер класса, тем более ровной и гладкой должна быть поверхность детали. Знак чистоты поверхности, указываемый на чертеже, представляет собой треугольник, опирающийся вершиной на поверхность детали или линию, служащую продолжением контура детали. Около треугольника справа пишут число, обозначающее класс чистоты. Если все поверхности детали должны иметь одинаковую чистоту, то знак ставят в правом верхнем углу чертежа вместо обозначений на поверхности детали. Сложные изделия подразделяют на несколько составных частей, собранных из отдельных деталей. Такие части называются *узлами*. В состав сложного изделия могут входить более крупные части, называемые *группами*, которые объединяют несколько узлов, составляя таким образом одну из основных частей изделия. Чертежи, изображающие изделия, группы или узлы в собранном виде и содержащие необходимые данные для их комплектования, сборки, обработки и контроля, называются *сборочными*. Каждый сборочный чертеж должен иметь *спецификацию*, помещенную над основной надписью. Спецификация содержит перечень всех деталей (позиций), из которых должны быть собраны узел, группа или изделие, а также данные, необходимые для их комплектования. Около каждой детали, изображенной на сборочном чертеже, наносят ее порядковый номер, указанный в первой графе спецификации. Это дает возможность сопоставлять данные спецификации с изображениями на сборочном чертеже. Строки спецификации нумеруют снизу вверх, чтобы можно было вносить в нее новые позиции, обозначив их следующими по порядку номерами. Каждому чертежу присваивают номер, по которому можно получить чертеж в техническом архиве. Чертежи нумеруют по стандартной десятичной схеме. Введение единой стандартной системы чертежей имеет важное значение в народном хозяйстве СССР, так как это позволяет передавать чертежи с одного завода на другой.

Категорически запрещается самовольно делать на чертежах, находящихся в производстве, какие – либо надписи или вносить в них исправления, даже если в чертеже обнаружена ошибка. Всякие изменения в чертежах допускаются по специальным разрешениям и выполняются конструкторами. Об изменении чертежа вносят запись в специальную табличку слева от основной надписи.

§19. Чертежи обмоток.

В обмоточном производстве чертежи отдельных деталей (пазовые клинья, соединительные скобочки и др.) имеют ограниченное применение.

Чертеж катушки или стержня обмотки является уже узловым чертежом, так как в его спецификацию входят несколько позиций: медная шина, ее изоляция, состоящая из нескольких материалов, и вспомогательные материалы, служащие для закрепления изоляции. Что касается чертежей обмотанного статора или якоря, то это уже чертежи групп электрической машины, так как в их спецификации входят более мелкие узлы, как например, сердечник статора, коллектор, якорь необмотанный и др. Чертежи обмоток в основном выполняют по общим правилам прямоугольного проектирования, однако в них имеются некоторые особенности, которые надо знать, чтобы правильно читать и понимать их. Так, например, на разрезах пазов, которые всегда выполняют в увеличенном масштабе, для упрощения вычерчивания окружность статора или ротора изображают отрезком прямой линии.

Ввиду того что толщина изоляции мала по сравнению с размерами медных шин, слои изоляции не разделяют линиями, а изображают одной полоской. Линиями отделяют только разные изоляционные материалы, и то лишь в чертежах, начерченных в крупном масштабе. Число слоев изоляции на чертежах указывают словами. В обмотках с большим числом витков тонкого сечения разрезы обмотки штрихуют в виде прямоугольной частой сетки без изображения витков обмоточного провода. При небольшом числе проводов в разрезах обмотки указывают их расположение. Имеются и другие особенности, которые будут рассмотрены при разборе чертежей.

Ни в коем случае не разрешается определять размеры изделия по масштабу, прикладывая к чертежу линейку с делениями, так как изображение на чертеже может быть неточным. Для этого имеются размерные числа на чертеже. Также нельзя определять число витков, пересчитывая их на сечении катушки по чертежу, так как легко можно ошибиться ввиду наличия в катушках переходных витков. Действительное число витков, марку и размеры провода и изоляционных материалов указывают в специальной таблице и в спецификации чертежа. На полях чертежа приводят технические требования по изготовлению и контролю катушек.

На рис. 52 изображен чертеж катушки обмотки якоря машины постоянного тока. Катушка состоит из пяти секций, как показывает число выводных концов. На чертеже показаны четыре изображения катушки: в середине чертежа – вид на катушку сверху, на правом изображении – вид на торец катушки со стороны коллектора, на левом – вид со стороны привода и вверху – продольный разрез якоря с уложенной на нем обмоткой.

На чертеже есть все размеры, необходимые для изготовления катушки. Как видно на правом и левом изображениях, – это двухслойная обмотка, так как одна сторона катушки занимает нижнюю половину паза якоря, а другая – верхнюю. Для унификации намоточных шаблонов и растяжных станков все катушки на данном заводе выполняют с одинаковым расположением сторон катушек в пазах. Как видно на правом изображении, у этой катушки на дне паза расположена правая сторона, если смотреть со стороны коллектора. На центральном изображении показаны две соседние катушки. Пазовые части катушек удалены одна от другой на толщину зубца якоря, а лобовые части вплотную прилегают друг к другу. Чем короче будет вылет лобовых частей, тем теснее они будут прилегать. Величину вылета определяют по расчету обмотки.

Слева на центральном изображении показаны размеры ширины катушки не в согнутом, а в плоском виде. Такой она получается на станке для растяжки (см. рис. 14). На чертеже видно, что верхняя сторона катушки имеет ширину 88,7 мм, а нижняя 68,6 мм. Это объясняется тем, что верхняя сторона лежит на цилиндрической поверхности с большим радиусом. Поэтому под этими размерами поставлены диаметры окружностей, по которым производился расчет размеров плоской катушки.

На чертеже показана укладка выводных концов катушки в прорези коллекторных пластин. По расположению выводных концов видно, что это волновая обмотка. Выводные концы катушки расположены по ширине паза. Эта катушка не с двойной, а с одинарной головкой. Поэтому выводные концы катушки, выходящие из верхней части паза, огибают лобовые части других катушек.

Пазовые части катушки на 10 мм. с каждой стороны якоря длиннее сердечника. Это сделано для того, чтобы углы зубцов якоря не прорезали изоляцию катушки. Между лобовыми частями верхнего и нижнего слоя вложены при укладке обмотки в пазы полоски электрокартона, чтобы лобовые части не прогибались при намотке на них проволочных бандажей. Если перегнуть выводные концы катушки, то она будет годиться и для петлевой обмотки этого же якоря. Головки катушки направлены не по радиусу якоря, а под углом к нему. Следовательно, это катушка со скошенной головкой. Применение скошенных головок дает некоторую экономию обмоточного провода и упрощает конструкцию станка для растяжки катушек. В процессе растяжки и происходит перекос головок катушки.

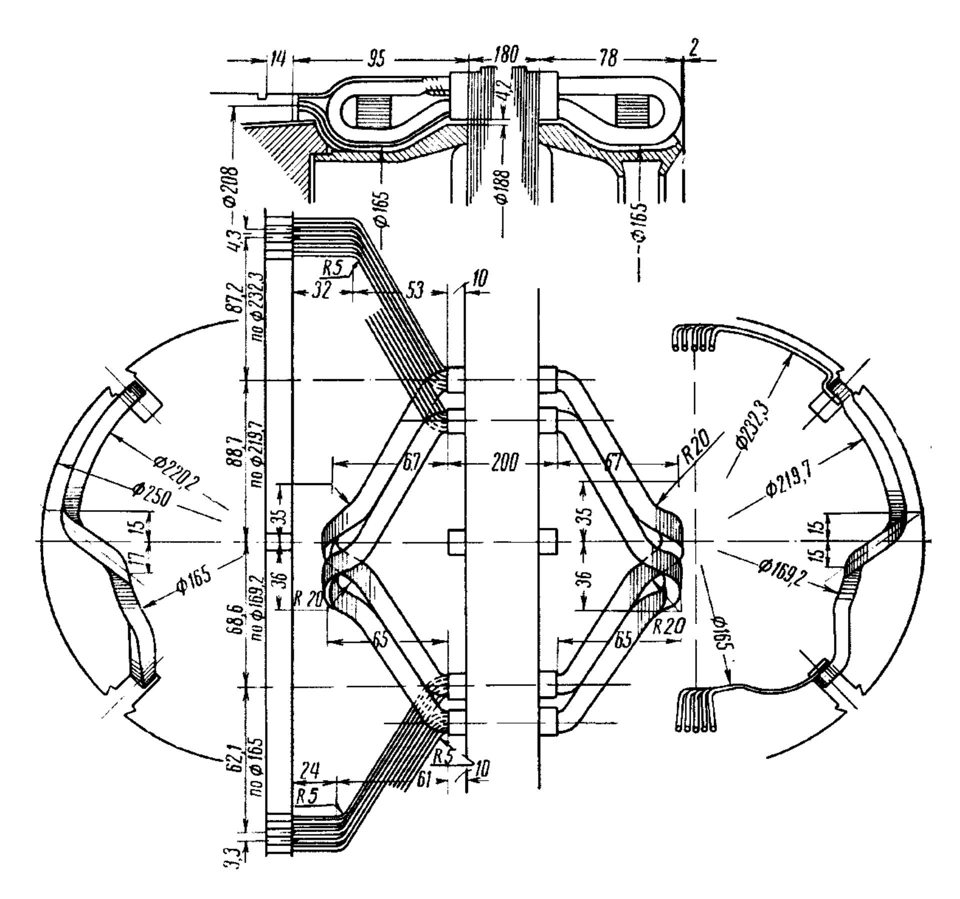


Рис. 52. Чертеж катушки обмотки якоря.

При создании серии электрических машин в целях унификации деталей и технологической оснастки два или несколько типов машин, близких по мощности, проектируют с одинаковыми диаметрами, но с разными длинами сердечников статора и ротора. Благодаря этому для всех машин данного габарита (диаметра) применяют одни и те же штампы для листов статора и ротора, одинаковые подшипниковые узлы и другие детали. Это способствует уменьшению количества типоразмеров, укрупнению партий обрабатываемых деталей и повышению производительности труда. Чтобы уменьшить число узловых и сборочных чертежей, для двигателей всех длин данного габарита выпускают один общий чертеж и на нем помещают таблицу, в которой указывают технические данные для каждого двигателя. Асинхронные двигатели единой серии имеют следующие обозначения типов. Буквой А обозначают вентилируемые продуваемые двигатели, буквами АО – закрытые обдуваемые снаружи двигатели, буквами АК – двигатели с фазным ротором и контактными кольцами. В новой серии асинхронных двигателей к обозначению типа добавляется цифра 2, например, А2, А02, АК2. После обозначения типа двигателя следуют цифры, из которых первые одна или две обозначают порядковый номер габарита, последняя – условный номер длины сердечников в данном габарите.

Затем через тире пишут цифру, показывающую число полюсов обмотки статора. На рис. 53 показан чертеж обмотанного статора, который служит для статоров всех трех длин двухполюсных закрытых обдуваемых электродвигателей 10 габарита. В правом нижнем углу чертежа помещена основная надпись. В ней обозначено название чертежа (статор), а слева от него – табличка для внесения изменений и подписи лиц, ответственных за правильность чертежа. Выпуск чертежа в производство является очень важным делом, так как в случае ошибки в чертеже все изготовленные по нему детали будут браком и часто неисправимым. Поэтому чертеж подписывает конструктор, который его разработал, затем проверяет и подписывает ведущий конструктор. Подпись технолога означает, что на эту деталь или узел разработана технологическая оснастка. Подпись контролера бюро нормализации означает, что в чертеже учтены заводские нормали и общесоюзные стандарты. После этого чертеж утверждают начальник бюро и главный конструктор. Справа от названия чертежа в основной надписи поставлен номер чертежа, по которому его можно получить в архиве и раздаточных. В нумерации чертежей первая цифра указывает класс изделия, где' цифрой 5 обозначают группы и узлы изделия, а цифрой 8 – детали. На втором и третьем местах поставлены буквы БА, представляющие собой условный индекс завода, на котором этот чертеж разработан. Классы изделия делят на секторы, секторы на виды, а виды на разновидности, номера которых определяют по классификатору. Они занимают четвертое, пятое и шестое места в номере чертежа. Данный чертеж относится к шестому сектору, седьмому виду и нулевой разновидности. Последние три цифры указывают порядковый регистрационный номер чертежа. Поскольку данный чертеж одновременно содержит в себе данные трех статоров, он занимает три номера (122, 123 и 124). Эти же девятизначные номера присваивают изделиям, изготовленным по этим чертежам.
Над основной надписью расположена спецификация, в которой каждая деталь или узел занимают одну позицию. Для одних позиций, например 3, 4, 5, в спецификации даны исчерпывающие данные о материале и его количестве. Для других в графе "Обозначение" указан номер чертежа, по которому эта деталь или узел изготовлены, например позиции 13, 14. Наконец, для третьих позиций в этой же графе написано "см. табл.". Это относится к тем деталям или узлам, которые зависят от длины сердечника. Технические данные их внесены в таблицу, расположенную над спецификацией. Там же указаны некоторые размеры, обозначенные на чертеже буквами, сопротивления обмоток и веса узлов и деталей.
Нет необходимости давать на сборочном чертеже большое количество изображений, так как детали на сборку поступают готовыми. Поэтому на нем дан только один продольный разрез, три дополнительных вида и разрез паза. Шаг катушек и соединения между ними показывают на схеме обмотки на отдельном чертеже.
При чтении чертежа находят ту или иную позицию на чертеже, смотрят в соответствующую номеру позиции строку спецификации, а если в ней имеется ссылка на таблицу, то в соответствующую строку таблицы.
Приведем несколько примеров пользования чертежом. В спецификации позиции 1 и 2 обозначают катушки обмотки статора. В этих строках спецификации указано: см. табл. В таблице под позициями 1 и 2 для двигателя АО101–2 стоят обозначения катушек 5БА.524.340 и 5БА.524.337. По этим номерам можно выписать катушки со склада. Если бы обматывали статор двигателя второй длины (тип АО102–2), то нужно было бы получить катушки с обозначениями 5БА.524.341 и 5БА.524.338. При этом изменились бы и другие номера чертежей или размеры деталей, указанные в таблице, например для позиций 8, 17, 18, 19. Статоры всех трех двигателей этого габарита имеют 48 пазов. При двухслойной обмотке для статора требуется 48 катушек. Между тем в спецификации указано: 6 катушек в позиции 1 и 42 катушки в позиции 2. Это сделано потому, что крайние катушки фаз отличаются выводными концами и имеют свои обозначения. В позиции 3 спецификации указан шнур для привязки лобовых частей к бандажным кольцам.

Размеры этого шнура не зависят от длины статора, поэтому в спецификации нет ссылки на таблицу. Чтобы лучше показать изоляцию нажимных шайб на чертеже, вынесен узел 1. На нем имеются позиции 25 и 26. В спецификации указано, что это полоски картона марки ЭВ толщиной 1 и 0,2 мм.; их ставят по шесть штук с каждой стороны статора.

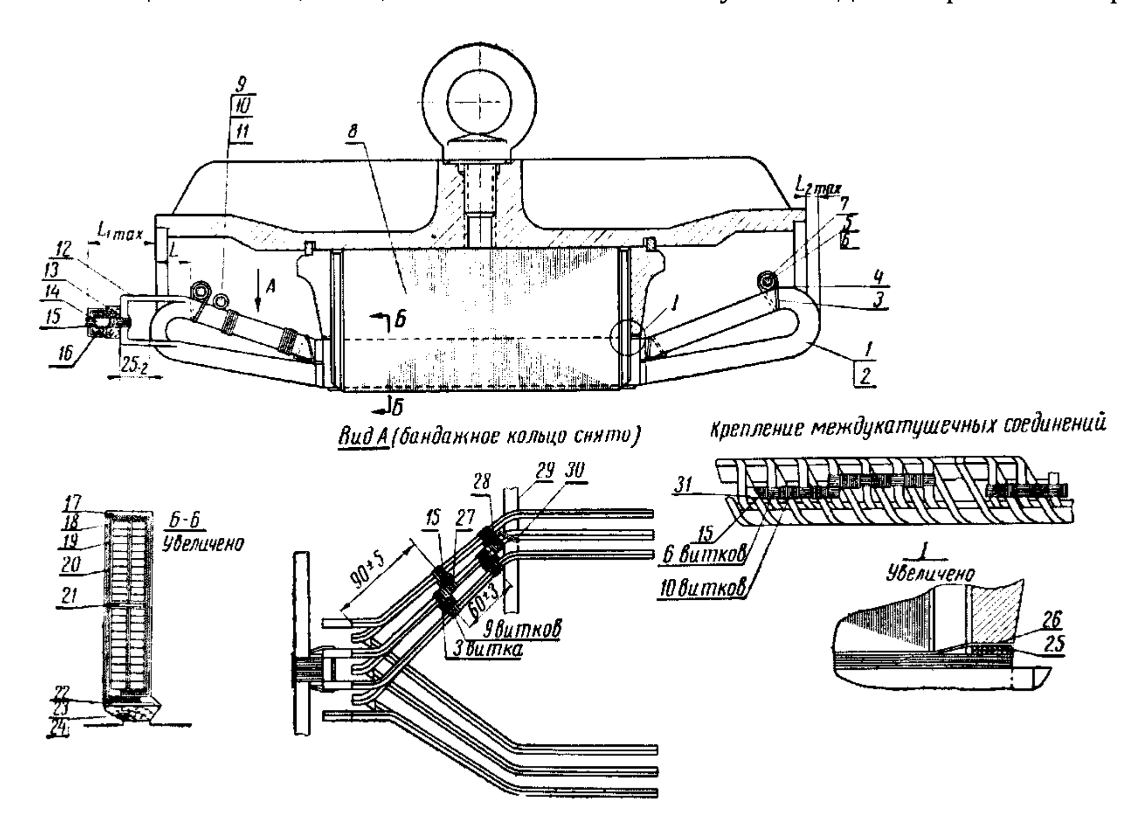


Рис. 53. Чертеж обмотанного статора.

На виде А изображены лобовые части катушек, если на них смотреть со стороны станины. На этом виде показано крепление распорок между катушками, расстояние между ними, число витков шнура и т. п. На отдельном изображении показано крепление межкатушечных соединений при помощи шнура 15 и прокладок 31. На разрезе Б – Б паза можно увидеть, что статор имеет полуоткрытые пазы.

Из спецификации узнаем, что пазовая гильза (позиции 18, 19 и 20) состоит из двух полосок картона и одной полоски гибкого миканита, размеры которых приведены в таблице. В каждый паз забивают по два клина. Из таблицы видно, что на три длины статора имеется две длины клиньев. У короткого статора забивают в паз два коротких клина, у длинного – два длинных, а у среднего – один длинный и один короткий.

Для всех материалов, указанных в спецификации, приведены подробные данные об их размерах, сорте, ГОСТ. Это позволяет точно подсчитать расход материалов на двигатель и определить его заводскую себестоимость.

§20. Схемы обмоток.

На чертежах можно изобразить только отдельные части обмоток, например катушки, их укладку в пазы и укладку лобовых частей на обмоткодержателях. На общих видах машин показывают расположение обмоток и их выводы. Что касается соединений между катушками, обмоткой якоря и коллектором, соединений между полюсными катушками, то их нельзя изобразить на чертежах. Для этой цели служат схемы обмоток.

Схема отличается от чертежа тем, что на ней элементы обмотки изображают условными линиями или обозначениями. Все детали, кроме проводов обмотки, обычно на схеме не показывают, чтобы не загромождать ее лишними изображениями, затрудняющими чтение схемы.

Исключение составляют лишь такие детали, как выводные зажимы, контактные кольца, пластины коллектора, к которым присоединяют концы обмотки. Эти детали изображают на схеме условными знаками. Изображение их часто требуется для указания того места в машине, от которого обмотка должна начинаться.

При составлении схем допускают еще больше условностей, чем в чертежах обмоток. Например, если катушка намотана в несколько параллельных проводов, то на схеме ее изображают одной линией, как и катушку, намотанную одним проводом. Обычно катушка имеет несколько витков, на схеме же ее изображают одной линией в виде замкнутой фигуры, напоминающей по форме катушку, от которой ответвляются только выводы.

Схемы обычно изображают в одной проекции, а отличительные особенности верхних и нижних сторон катушек в пазах – различными линиями; например, верхние стороны проводят сплошными линиями, а нижние – штриховыми. В обмотках машин трехфазного тока провода фаз также изображают различными линиями – сплошной, штриховой и штрихпунктирной.

Обозначение выводов обмоток, идущих на дощечку зажимов, установлены ГОСТ 183 – 66. Трехфазная обмотка статора имеет следующие обозначения выводов:

С1 – начало первой фазы, С4 – конец первой фазы
С2 – начало второй фазы, С5 – конец второй фазы
С3 – начало третьей фазы, С6 – конец третьей фазы

У старых типов электрических машин начала фаз обозначались латинскими буквами X, Y, Z, а концы фаз – соответственно U, V, W; или начала фаз – буквами A, B, C, а концы фаз – соответственно X, Y, Z.

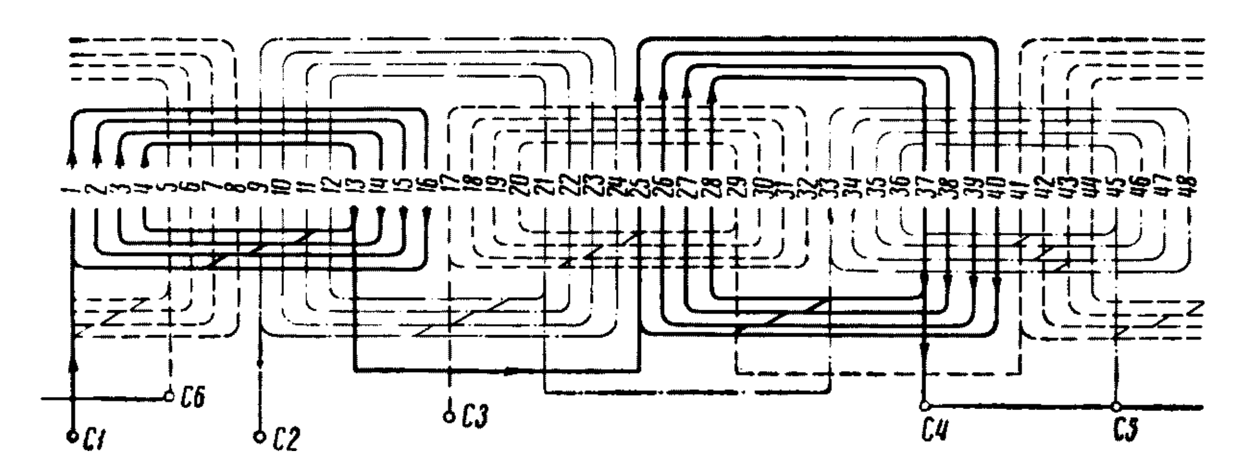


Рис. 54. Развернутая схема концентрической обмотки.

Трехфазная обмотка ротора имеет следующие обозначения выводов, подводимых к контактным кольцам:

Р1 – от первой фазы
Р2 – от второй фазы
Р3 – от третьей фазы

Существуют два основных вида схем обмоток – развернутые и торцовые. На рис. 54 показана развернутая схема концентрической трехфазной однослойной обмотки статора. На этой схеме видны п провода, лежащие в пазах, и лобовые соединения с обеих сторон статора. Некоторое затруднение для чтения развернутой схемы заключается в том, что начало и конец развертки, которые на статоре лежат рядом, на развернутой схеме получаются удаленными друг от друга на всю длину схемы, а соединения лобовых частей обмотки оказываются при этом разрезанными.

При чтении схемы приходится мысленно прослеживать соединения от конца схемы к началу, подобно тому, как при чтении книги переходят от конца одной строки к началу следующей. При составлении схемы надо выбрать место разреза таким образом, чтобы наименьшее количество лобовых соединений оказалось разрезанным, а по отношению к катушкам, – чтобы линия разреза располагалась симметрично. На схеме катушки трех фаз изображены разными линиями.

Пазы статора показаны вертикальными черточками. В разрывах черточек проставлены номера пазов. Каждая катушка изображена замкнутым прямоугольником, а переходы между катушками – косыми черточками. На схеме видно, что катушечная группа состоит из четырех катушек, которые концентрически охватывают одна другую. Следовательно, это концентрическая обмотка.

Для сравнения на рис. 55 показана торцовая схема этой же обмотки без соединений между катушечными группами. Здесь каждый паз статора изображен в виде черной точки, а лобовые соединения – в виде дуг. Торцовые схемы наглядно показывают размещение катушечных групп на статоре, но на них трудно показать соединения между группами.

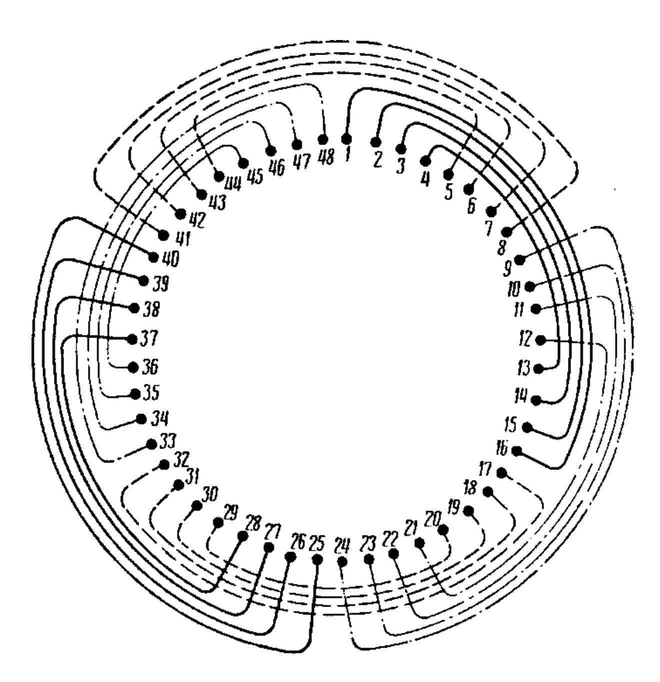


Рис. 55. Торцовая схема концентрической обмотки.

Для двухслойных обмоток машин переменного тока в заводской практике пользуются упрощенными схемами, которые рассматриваются в §33. В крупных машинах при большом числе пазов и упрощенные схемы сложны для пользования, так как в них много пересекающихся соединений. Особенно усложняются схемы обмоток, если в них есть параллельные ветви. Поэтому в производстве электромашиностроительных заводов распространены обмоточные таблицы.

В таблицах нет никаких изображений обмотки, а номера соединяемых проводов или пазов, в которых провода расположены, обозначены числами, написанными через тире. Поскольку таблицы лишены наглядности, по ним нельзя изучать разные типы обмоток. Пользоваться таблицами, а тем более составлять их, можно, только изучив правила соединений в данном типе обмотки. Составление обмоточных таблиц для обмоток разных типов разобрано в §33; 55 и 63.

Научить разбираться в схемах обмоток – задача теоретического обучения обмотчиков электрических машин. Поэтому в следующих главах приводятся подробный разбор общих правил построения схем и примеры их выполнения для различных типов обмоток. В целях лучшего усвоения схем рекомендуется не только рассматривать готовые схемы, но и вычерчивать их самостоятельно.

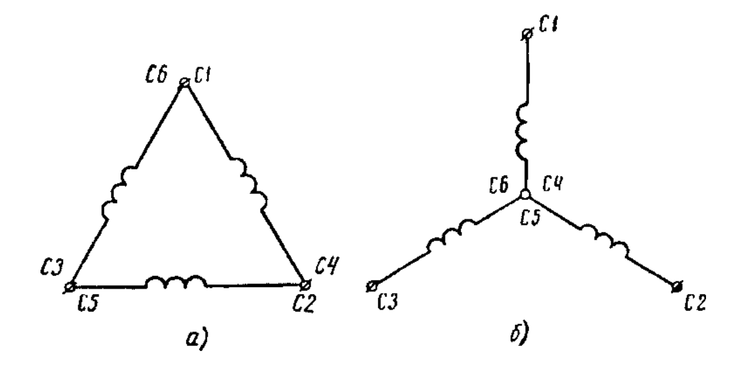


Рис. 56. Соединение фаз трехфазной обмотки: *а* – в треугольник, *б* – в звезду.

Почти все асинхронные двигатели выпускаются на два напряжения трехфазной сети, например 127/220 или 220/380В. Такие двигатели всегда имеют шесть выводов от обмотки статора, из которых три являются началами, а другие три – концами фаз. Обычно все шесть выводов присоединяют к зажимам на специальной дощечке или выводят гибкими проводами с резиновой изоляцией, на которые надевают бирки с обозначениями выводов согласно ГОСТ 183 – 66.

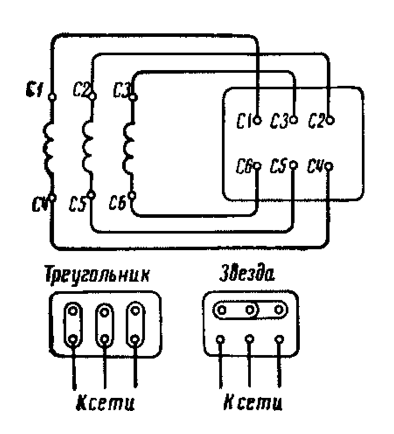


Рис. 57. Схема дощечки зажимов.

Чтобы присоединить обмотку к трехфазной сети, надо шесть выводов обмотки соединить в звезду или треугольник. Соединение фаз обмотки зависит от напряжения сети. Например, если двигатель изготовлен на напряжение 220/380В, то для присоединения к сети напряжением 220В фазы обмотки должны быть соединены в треугольник (рис. 56*а*). Тогда на зажимах фазы обмотки будет напряжение 220В, как и в линии. Если же двигатель должен быть присоединен к трехфазной сети напряжением 380В, то фазы обмотки должны быть соединены в звезду (рис. 56*б*). При этом напряжение на зажимах фазы обмотки будет: 380 / 1,73 = 220В, т. е. напряжение фазы обмотки сохранится прежним.

Переключение обмотки со звезды на треугольник производится путем перестановки перемычек между контактными болтами на дощечке зажимов. На рис. 57 показано положение перемычек при соединении схемы обмотки в треугольник и звезду. При этом концы фаз подключены к контактным болтам в порядке следования номеров фаз, а начала фаз передвинуты так, что над концом третьей фазы расположено начало первой, над концом второй – начало третьей и над концом первой – начало второй фазы.

Контрольные вопросы.

1. Для чего применяют в чертежах масштабы?
2. На какие части разделяются сложные изделия?
3. Какие изображения дают на чертеже катушки якоря?
4. Как надо пользоваться спецификацией чертежа?
5. Почему на чертеже статора (см. рис. 53) помещена таблица?
6. Что называется катушечной группой?
7. Какими буквами и цифрами обозначают выводные концы обмотки?
8. Для чего производят переключение обмотки на дощечке зажимов?

Глава VII
Однослойные трехфазные обмотки статора и ротора.
§21. Типы однослойных обмоток.

Однослойными называются обмотки, у которых весь паз занимает сторона одной катушки. К однослойным обмоткам относятся: концентрическая трехфазная двухплоскостная и трехплоскостная; равнокатушечная трехфазная (простая, "вразвалку", цепная).

Концентрическую трехфазную обмотку можно назвать родоначальницей всех обмоток машин переменного тока, так как до 30 – х годов она имела почти исключительное применение в диапазоне мощностей от 1 кВт до десятков тысяч киловатт. С концентрическими обмотками статора и ротора выпускали как низковольтные, так и высоковольтные машины. В то время почти все машины переменного тока имели пазы закрытой формы, поэтому технология выполнения и укладки обмоток была очень сложной. В эксплуатации есть еще много машин с концентрическими обмотками, которые периодически попадают на заводы для ремонта. В 30–х годах концентрические обмотки были почти полностью заменены двухслойными с укороченным шагом. Концентрические обмотки сохранились только в роторах асинхронных двигателей малой мощности, так как обмотки ротора выполняют без укорочения шага. Однако при разработке единой серии асинхронных двигателей в 3, 4 и 5 габаритах опять вернулись к концентрическим обмоткам. Это объясняется тем, что для двигателей массового производства они выгоднее, чем двухслойные обмотки, как в отношении лучшего заполнения паза, так и технологии укладки в полузакрытые пазы. Для однослойных обмоток имеются полуавтоматические обмоточные станки. Таким образом, концентрические обмотки машин переменного тока прочно удерживают свое место в асинхронных двигателях мощностью до 7 кВт и в микромашинах как трехфазного, так и однофазного тока.

Равнокатушечные обмотки были разработаны для машин малой мощности с полузакрытыми пазами. При малом числе полюсов катушечные группы были слишком громоздкими и для их разгрузки были применены равнокатушечные обмотки "вразвалку", у которых число катушек в группе вдвое меньше. Цепные обмотки являются разновидностью равнокатушечных с несколько более удобной укладкой лобовых частей.

§22. Схемы концентрических трехфазных обмоток.

Трехфазная концентрическая обмотка (см. рис. 54 и 55) состоит из катушек, стороны которых расположены в пазах так, что катушки концентрически охватывают одна другую. Поэтому обмотка так и называется. Для составления схемы обмотки надо знать схему соединения фаз и следующие величины:

z – число пазов статора или ротора; $2p$ – число полюсов; m – число фаз; yz – шаг обмотки; a – число параллельных ветвей обмотки.

Шаг обмотки определяют по формуле:

$$yz = \frac{z}{2p} \quad (2)$$

Так, например, для обмотки, изображенной на рис. 54 и 55, шаг обмотки:

$$yz = \frac{z}{2p} = \frac{48}{4} = 12$$

Шагом называют расстояние между сторонами катушки, выраженное разностью номеров пазов, в которых лежат эти стороны. Как видно на схемах, у катушек одной катушечной группы шаги разные и выражаются числами: 13 – 4 = 9; 14 – 3 = 11; 15 – 2 = 13 и 16 – 1 = 15. Для концентрической обмотки расчетная величина шага по формуле (2) является средней арифметической между шагами отдельных катушек. Действительно

$$\frac{9+11+13+15}{4}=12$$

Если на схеме или на чертеже будет указано, что шаг обмотки по пазам равен 12, то это можно понять неправильно. Неопытный обмотчик может подумать, что если одна сторона катушки лежит в 1 пазу, то вторую сторону катушки надо положить в 12 паз. Чтобы не было таких недоразумений, обычно на схемах и чертежах шаг обмотки указывают двумя числами, показывающими номера пазов, в которых лежат стороны катушки. Поэтому вместо yz = 12 пишут: шаг обмотки 1 – 13. Это читают так: шаг обмотки из первого паза в тринадцатый. В обмотках машин переменного тока есть еще один важный показатель, называемый числом пазов на полюс и фазу и обозначаемый буквой q. Число пазов на полюс и фазу можно определить по формуле:

$$q=\frac{z}{2p}\times m \quad (3)$$

Для обмотки, схема которой показана на рис. 54:

$$q=\frac{z}{2p\times m}=\frac{48}{4\times 3}=4$$

В концентрических обмотках число пазов на полюс и фазу видно на схеме. Это число катушек в катушечной группе. В статорах машин трехфазного тока нет явно выраженных полюсов, как в машинах постоянного тока, однако в концентрической обмотке число полюсов можно легко определить по внешнему виду обмотки. Это связано с тем, что в трехфазной двухполюсной обмотке катушки трех фаз образуют два полюса – северный и южный. Исходя из этого, можно установить зависимость между числом катушечных групп k и числом полюсов $2p$. Очевидно, что на каждые три катушечные группы приходится два полюса, следовательно, число полюсов составляет две трети от числа катушечных групп, или, другими словами, число катушечных групп в полтора раза больше числа полюсов. Формулы это выражают так:

$$2p = \tfrac{2}{3}\times k \quad (4)$$

$$\mathrm{k = 3p} \quad (5)$$

Как видно на схеме (см. рис. 54) обмотка имеет шесть катушечных групп. Следовательно, в этой обмотке:

$$2p=\frac{2\times 6}{3}=4$$

Катушечные группы в фазе соединены последовательно, значит число параллельных ветвей a в фазе равно 1. Число пазов статора трехфазной машины не может быть произвольным. Оно выражается формулой:

$$\mathrm{z = 2p\times m\times q} \quad (6)$$

Формулой (6) следует пользоваться при расчетах обмоток машин переменного тока. Число пазов на полюс и фазу может быть не только целым, но и дробным (см. §32). Из формулы (5) видно, что при четном числе пар полюсов число катушечных групп получается также четное. Значит, их можно разделить поровну на два вида – катушечные группы с длинными лобовыми частями и катушечные группы с короткими лобовыми частями.

На рис. 58, а показаны в разрезе лобовые части обмотки, схема которой изображена на рис. 54. Лобовые части, обозначенные буквой А, соответствуют длинным катушкам на схеме, а лобовые части, обозначенные буквой Б, соответствуют коротким катушкам на схеме. Таким образом, у этой обмотки лобовые части расположены в двух плоскостях, поэтому она называется *двухплоскостной*.

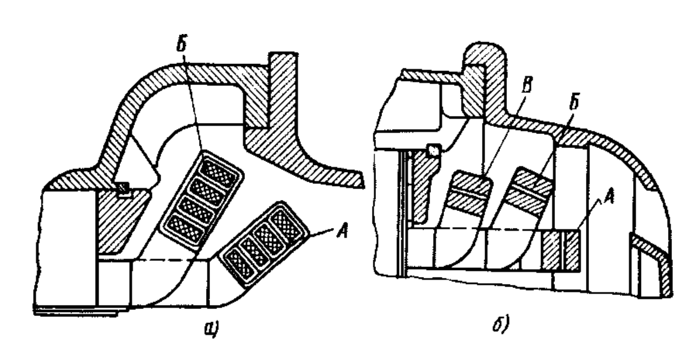


Рис. 58. Лобовые части концентрических обмоток:
а – двухплоскостной, *б* – трехплоскостной.

Число пар полюсов может быть и нечетным. Например: число пазов z равно 36, число полюсов $2p$ составляет 6. Для этой обмотки число катушечных групп по формуле (5): $k = 3p = 3 \times 3 = 9$. При нечетном числе катушечных групп одна из них получается с перекошенными лобовыми частями. Выполнение такой катушечной группы не представляет больших трудностей в обмотках из круглого провода. Но при жестких катушках эту катушечную группу нужно изготовлять на специальном шаблоне. Если такую обмотку применяют в роторе, то вследствие неодинакового веса лобовых частей ротор при вращении вибрирует и его трудно сбалансировать. В машинах с жесткими катушками следует избегать применения перекошенных катушек. Этого можно добиться, искусственно увеличив число катушечных групп. Разберем такой пример. Имеется обмотка со следующими техническими данными: $z = 24$, $2p = 2$ и $q = 4$. Число катушечных групп у такой обмотки $k = 3p = 3$. Так как число катушечных групп нечетное, то одна группа получится с перекошенными лобовыми частями. Но можно схему обмотки построить иначе. Разделим каждую катушечную группу на две (рис. 59), направляя лобовые части каждой ее половины в противоположные стороны. Тогда получим обмотку, у которой каждая катушечная группа будет состоять из двух катушек, а число групп при этом удвоится. На схеме видна и другая особенность этой обмотки: у нее лобовые части А, Б, В расположены не в двух, а в трех плоскостях (рис. 58*б*) и поэтому обмотку называют трехплоскостной или концентрической обмоткой вразвалку. К трехплоскостным обмоткам прибегают иногда и при четном числе катушечных групп, чтобы упростить укладку лобовых частей. Так, например, обмотку, схема которой изображена на рис. 54, можно выполнить также трехплоскостной с двумя катушками в катушечной группе. Рекомендуем учащимся выполнить эту схему самостоятельно.

Трехплоскостная обмотка имеет следующие преимущества перед двухплоскостной: отсутствие катушечных групп с перекошенными лобовыми частями и более простые катушечные группы. Недостаток ее заключается в неодинаковой длине отдельных фаз.

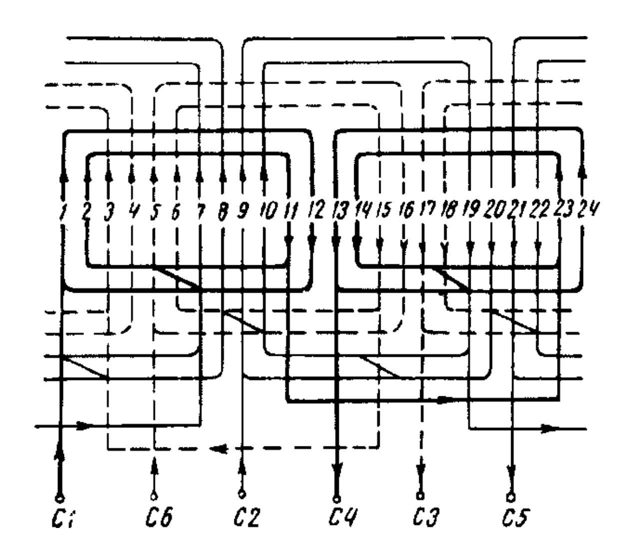


Рис. 59. Схема трехплоскостной обмотки.

Сравнивая схемы, показанные на рис. 54 и 59, видим, что у двухплоскостной обмотки в каждой фазе одинаковое число длинных и коротких катушек. Таким образом, развернутые длины всех фаз, а следовательно, и сопротивления их, одинаковы. У трехплоскостной обмотки первая фаза состоит из коротких катушек, вторая – из средних, третья – из длинных. Поэтому сопротивления фаз будут различными, что вносит не симметрию в обмотку.

§23. Соединение катушечных групп в фазах.

После укладки обмотки в пазы приступают к соединению катушечных групп в фазах. Для этого от каждой катушечной группы выводят два вывода – начало и конец катушечной группы. Таким образом, общее число выводов в два раза больше числа катушечных групп. На дощечку зажимов от статорной обмотки должно быть выведено шесть выводов – начала и концы трех фаз. Остальные выводы должны быть соединены внутри каждой фазы. Выполнение этих соединений – самая сложная часть работы обмотчика. Она требует знаний и навыка, так как при неправильном соединении катушечных групп машина не будет нормально работать.

Соединения катушечных групп показаны в развернутой схеме (см. рис. 54). Эта обмотка имеет шесть катушечных групп. Сначала надо соединить катушечные группы в одной фазе. Проследим, как выполнено соединение между катушечными группами первой фазы, начерченной сплошными линиями. Вывод, выходящий из 1 паза, является началом катушечной группы. Его отгибают, так как он пойдет к дощечке зажимов и будет началом первой фазы. Из 13 паза выходит конец этой же катушечной группы. Его надо соединить со второй катушечной группой первой фазы, выводы которой выходят из 25 и 37 пазов. Как видно из торцовой схемы (см. рис. 55), вторая катушечная группа расположена на статоре диаметрально противоположно первой группе. В четырехполюсной машине она должна иметь такую же полярность, как и первая. Поэтому направление тока в обеих катушечных группах должно быть одинаковое. Для этого надо конец первой катушечной группы, выходящий из 13 паза, соединить с началом второй группы, выходящим из 25 паза. Проверим, действительно ли при таком соединении обе катушки имеют одинаковую полярность.

Предположим, что ток направлен в отогнутый выводной конец первого паза. Он будет обтекать первую катушечную группу по направлению часовой стрелки, затем перейдет по проводу 25 паза на вторую катушечную группу, которую будет обтекать так же по часовой стрелке. Следовательно, соединение катушечных групп выполнено правильно, так как полярность катушек соответствует положению их на статоре. Вывод, выходящий из 37 паза, служит концом первой фазы и идет к дощечке зажимов.

Других катушек в первой фазе нет, поэтому соединение катушечных групп в первой фазе на этом заканчивается. Теперь надо решить, из какого паза взять начало второй фазы, изображенной штрих – пунктирной линией. Для этого не обходимо познакомиться с понятием электрические градусы.
Из геометрии известно, что окружность разбивается на 360°. Эти градусы называются геометрическими или пространственными. Поскольку статор и ротор представляют собой окружность, они всегда содержат 360 пространственных градусов. Число же электрических градусов в окружности статора может быть равно 360 или больше в целое число раз. Если обмотка статора выполнена на два полюса, то число электрических градусов в окружности статора так же равно 360. Но если обмотка выполнена на четыре полюса, то за 360 электрических градусов следует принять часть окружности, на которой расположен один северный и один южный полюс. Так как вся окружность статора занимает четыре полюсных деления, то число электрических градусов будет в два раза больше, чем число пространственных градусов.
Таким образом, в четырехполюсной обмотке окружность статора содержит 720 электрических градусов, в шестиполюсной обмотке – 1080 электрических градусов и т. д. Из этого можно вывести общее правило, что *число электрических градусов в окружности равняется* 360 × *p*, где *p* – число пар полюсов обмотки. Зная это, можно для всякой обмотки определить, сколько электрических градусов заключено между двумя соседними пазами. Например, статор имеет 36 пазов и обмотка выполнена на шесть полюсов. Окружность такого статора содержит 1080 электрических градусов. Следовательно, угол между соседними пазами составляет: 1080 / 36 = 30 электрических градусов.
Для соблюдения симметрии обмотки необходимо, чтобы расстояние между началами трех фаз составляло две трети полюсного деления, т. е. 120 электрических градусов. Такое же расстояние должно быть и между концами фаз. Вернемся к схеме, изображенной на рис. 54, и определим, из какого паза надо взять начало второй фазы, пользуясь правилом, с которым мы сейчас познакомились. В этой обмотке, намотанной на четыре полюса, окружность статора содержит 720 электрических градусов.
Угол между соседними пазами будет: 720 / 48 = 15. Следовательно, начало второй фазы, которое должно отстоять от начала первой фазы на 120 электрических градусов, находится на расстоянии: 120 / 15= 8 пазовых делении. Теперь легко найти положение начала второй фазы, для чего к 1 пазу нужно прибавить 8, тогда началом второй фазы должен служить провод, выходящий из 9 паза. Конец первой катушечной группы второй фазы, выходящий из 21 паза, надо соединить с началом второй группы этой фазы, выходящим из 33 паза. При этом, как видно из схемы, получим катушки одинаковой полярности.
После соединения катушечных групп второй фазы останется свободным конец фазы, выходящий из 45 паза. Но известно, что концы и начала фаз должны быть расположены также на расстоянии 120 электрических градусов, т. е. восьми пазовых делений. На основании этого можно проверить сделанное соединение. Для этого определим разность номеров пазов, из которых выходят концы фаз: 45 – 37 = 8 пазовых делений, т. е. концы фаз расположены правильно. Теперь осталось соединить катушечные группы третьей фазы. Начало фазы должно выходить из паза 9 + 8 =17. После соединения катушечных групп, которое выполняется аналогично соединению в других фазах, останется свободным вывод из 5 паза.
Проверим, правильно ли расположены один относительно другого концы второй (45 паз) и третьей (5 паз) фазы. Это нельзя проверить простым вычитанием, так как 5 меньше 45. Поэтому поступим следующим образом. Обратимся к торцовой схеме (см. рис. 55) и начнем считать номера пазов подряд; тогда после 48 будет 49 паз, который на схеме обозначен номером 1; после 49 – 50 (на схеме – 2) и т. д. 5 же паз получит номер 48 + 5 = 53. Вычитая 45 из 53, получим 8 пазовых делений. Таким образом, расстояние между концами фаз получилось правильное.

Теперь рассмотрим соединение катушек в фазах на схеме, показанной на рис. 59. У этой обмотки, выполненной вразвалку, число катушечных групп вдвое больше, чем у простых обмоток, и равно: $k = 2 \times 3p = 2 \times 3 \times 1 = 6$. Угол между соседними пазами 360 / 34 = 15 электрических градусов. Расстояние между началами фаз 120 / 15 = 8 пазовых делений. Две катушки первой фазы расположены на статоре диаметрально противоположно и поэтому в двухполюсной машине должны иметь различную полярность. В первой катушке ток направлен по часовой стрелке, а во второй катушке этой же фазы – против часовой стрелки. Как видно на схеме, это будет тогда, когда мы соединим одноименные выводы катушек, т. е. конец первой катушки с концом второй. Аналогично должны быть соединены катушки в других фазах.

Существует два основных правила выполнения соединений катушечных групп в фазах однослойной концентрической обмотки и выбора начал и концов фаз:

1. Расстояния между началами и концами фаз должны быть равны 120 электрическим градусам. Положение начала первой фазы может быть выбрано произвольно.

2. В каждой фазе двухплоскостной обмотки надо соединять катушки разноименными выводами, т. е. начало с концом или конец с началом, а в трехплоскостной обмотке надо соединять катушки одноименными выводами, т. е. начало с началом или конец с концом.

§24. Составление схем концентрических обмоток.

Обмотчику часто приходится самостоятельно составлять схемы обмоток. Исходными данными являются число пазов статора z, число полюсов $2p$ и число параллельных ветвей обмотки a. Разберем построение схемы на следующем примере.

Составить схему однослойной концентрической обмотки по данным: $z = 24$; $2p = 4$; $a = 1$. Сначала определим число катушечных групп k по формуле (5): $k = 3p = 6$. Таким образом, в каждой фазе будет по две катушечные группы. Теперь определим число пазов на полюс и фазу по формуле (3): $q = z / 2pm = 24 / 4 \times 3 = 2$. Следовательно, сторона каждой катушечной группы занимает два паза. Обмотка имеет четное число пар полюсов 17 = 2, поэтому ее можно выполнить без перекошенных катушек, расположив лобовые части в двух плоскостях. Проводим 24 вертикальные линии (рис. 60*а*), обозначающие пазы статора, и нумеруем их. 1 и 2 пазы заняты левой стороной первой катушечной группы первой фазы. Затем оставляем четыре ($2\ q$) паза свободными для катушечных групп двух других фаз. Правая сторона этой катушечной группы лежит в 7 и 8 пазах. Это катушечная группа с короткими лобовыми частями. Рядом с ней лежит вторая катушечная группа с короткими лобовыми частями, которая занимает 9; 10; 15 и 16 пазы, а затем третья катушечная группа, занимающая 17; 18; 23 и 24 пазы. В промежутках, оставленных внутри катушечных групп, симметрично расположатся катушечные группы с длинными лобовыми частями (рис. 60*б*). Пронумеруем по порядку все катушечные группы от первой до шестой (рис. 60*в*). К первой фазе принадлежат первая и четвертая катушечные группы, ко второй фазе – вторая и пятая, к третьей – третья и шестая. Принимаем за начало первой фазы начало первой катушечной группы – 1 паз. Соединяем конец первой катушечной группы с началом четвертой (13 паз). Конец четвертой катушечной группы является концом первой фазы (19 паз). Таким образом, соединена схема первой фазы. Чтобы определить положение начала второй фазы, надо рассчитать угол между двумя пазами в электрических градусах. У данной обмотки в окружности статора будет $360p = 360 \times 2 = 720$ электрических градусов. Следовательно, угол между пазами будет 720 / 24 = 30 электрических градусов. Поэтому расстояние между началами фаз будет 120 / 30 = 4 пазовых деления, а начала фаз расположены в следующих пазах: начало второй фазы в 1 + 4 = 5 пазу, а третьей фазы в 5 + 4 = 9 пазу. Теперь соединяем катушечные группы в двух других фазах (рис. 60*г*), следя за тем, чтобы полярность обеих катушек каждой фазы была одинаковой. Для этого конец второй катушечной группы соединяем с началом пятой, а конец третьей – с началом шестой.

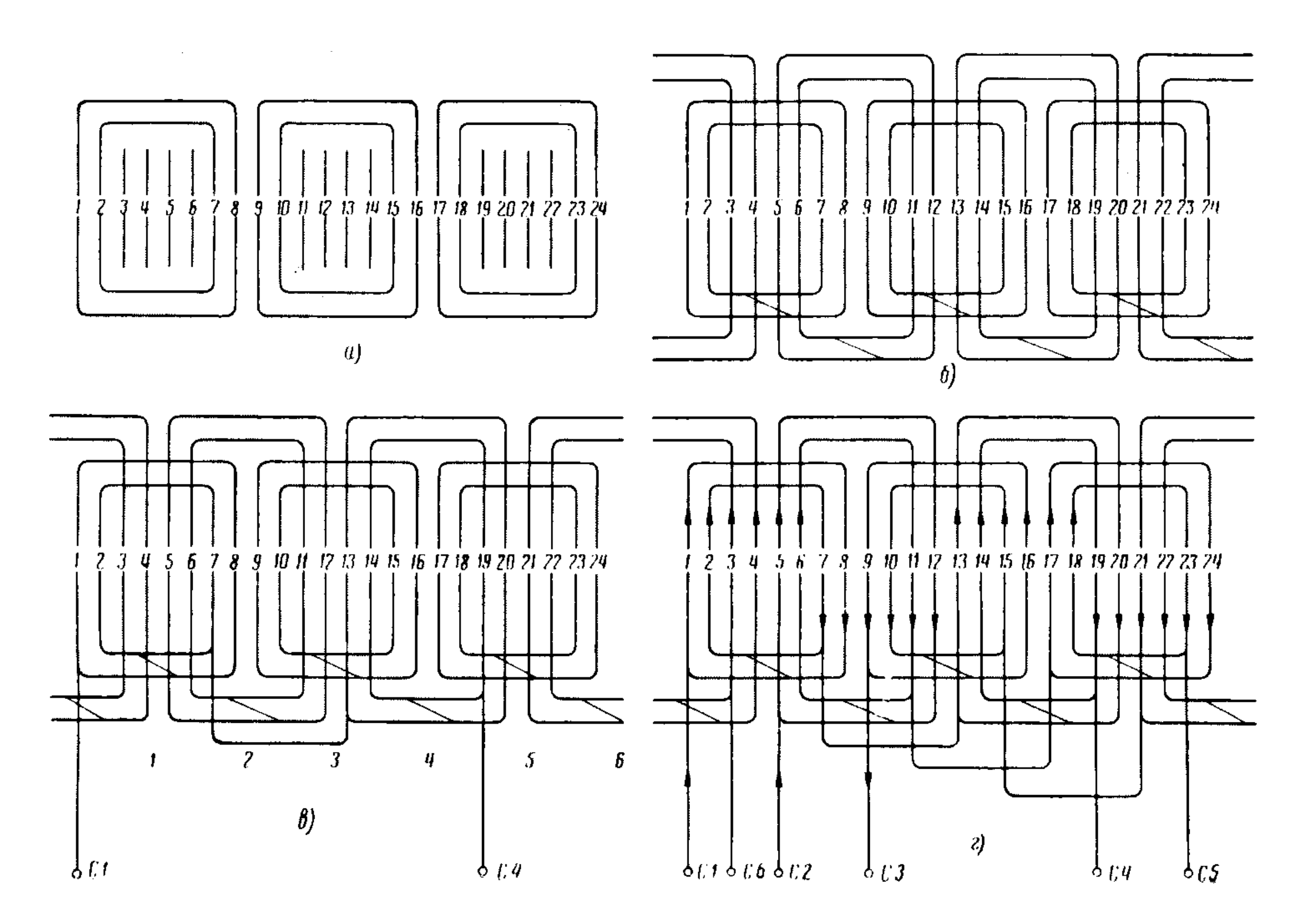


Рис. 60. Схема концентрической обмотки
а, *б*, *в*, *г* – последовательность построения схемы.

Чтобы проверить правильность схемы, расставим на проводах стрелки, считая, что ток направлен в обмотку через начала первой и второй фаз, а из обмотки – через начало третьей фазы. На схеме видим, что стрелки делят ее на четыре симметричные зоны соответственно числу полюсов; в каждой зоне лежит по 6 пазов. Шаг между концами фаз также равен 4. Следовательно, обмотка выполнена правильно.

§25. Схемы равнокатушечных однослойных трехфазных обмоток.

Равнокатушечными называют обмотки, состоящие из катушек с одинаковым шагом. Для удобства изготовления катушки шаблонных обмоток обычно наматывают на шаблон в форме трапеции. На рис. 61 показана схема простой шаблонной обмотки, на рис. 62 – схема шаблонной обмотки вразвалку. Обмотку вразвалку применяют при большом числе пазов на полюс и фазу для упрощения укладки лобовых частей.

Цепные обмотки также выполняют вразвалку, но здесь короткие и длинные стороны катушек чередуются, т. е. развалку производят не по половинам катушечных групп, а по отдельным катушкам. Цепные обмотки позволяют достигнуть более компактной укладки лобовых частей, чем другие равнокатушечные обмотки. На рис. 63 показана схема цепной обмотки статора с числом пазов 36 и числом полюсов 4. Из схемы видно, что шаг обмотки должен быть всегда равен нечетному числу, так как если длинные стороны катушек занимают пазы с нечетными номерами, то короткие стороны катушек должны занимать пазы с четными номерами, а разность между четным и нечетным числом есть число нечетное. Все катушки имеют одинаковый шаг, равный 9, т. е. первая катушка укладывается в 1 – 10 пазы, следующая – в 3 – 12 и т. д.

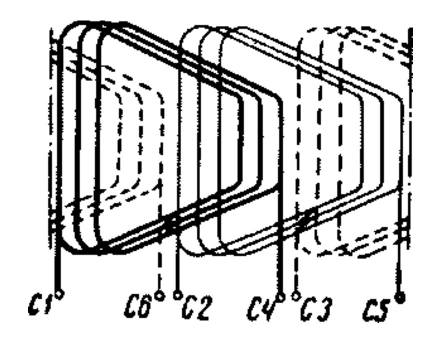


Рис. 61. Схема простой равнокатушечной шаблонной обмотки.

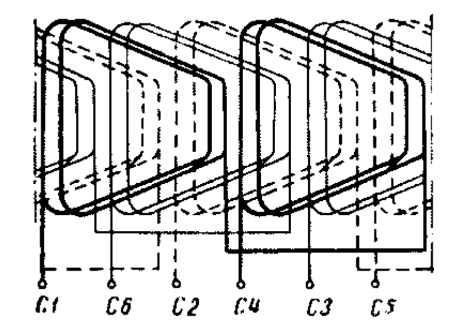


Рис. 62. Схема равнокатушечной шаблонной обмотки "вразвалку"

Шаг обмотки можно определить по формуле (2). В данном случае: yz = 36 / 4 = 9. Лобовые части равнокатушечной обмотки располагаются симметрично, поэтому по схеме нельзя определить, сколько катушечных групп содержит обмотка и на сколько полюсов она намотана. Для определения числа полюсов надо проследить направление тока в проводах обмотки, считая, что ток направлен от начала первой фазы к ее концу.

На схеме (рис. 63) показано направление тока в первой фазе. Проследив направление тока во всех проводах фазы, видим, что ток в двух группах проводов направлен вверх, а в двух группах – вниз. Это показывает, что обмотка выполнена на четыре полюса. Число пазов в такой группе равно 3 в соответствии с числом пазов на полюс и фазу, которое в данной обмотке будет: q = 36 / 4 × 3 = 3.

Группы проводов с одинаковым направлением тока расположены на схеме на одинаковых расстояниях. Это показывает, что соединение катушек в обмотке выполнено правильно.

Цепные обмотки применяют в статорах машин малой мощности. Они могут быть изготовлены из заранее намотанных катушек, причем все катушки могут быть намотаны на одном и том же шаблоне. Провода вкладывают в пазы путем всыпания их через прорезь паза. Поэтому обмотку называют всыпной.

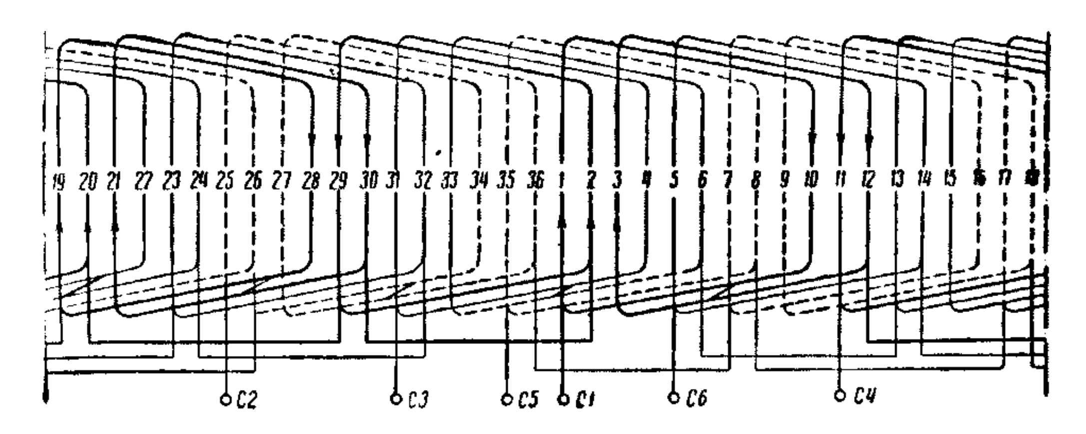


Рис. 63. Схема цепной обмотки с диаметральным шагом.

Цепные обмотки допускают укорочение шага. Правда, укорочение не может быть произвольным, так как шаг обмотки должен всегда выражаться нечетным числом. Например, обмотку на схеме, показанной на рис. 63, можно выполнить с укороченным шагом, равным 7, т. е. из 1 паза в 8 паз. Иногда обмотку приходится принудительно делать с укороченным шагом. Разберем такой пример. Имеется цепная обмотка со следующими техническими данными: z = 36, $2p$ = 6. Разделив число пазов на число полюсов, узнаем, что шаг обмотки получается 6 – четное число. С таким шагом обмотка не может быть выполнена, поэтому берем шаг 5. На рис. 64 показана схема этой обмотки и вид ее лобовых частей.

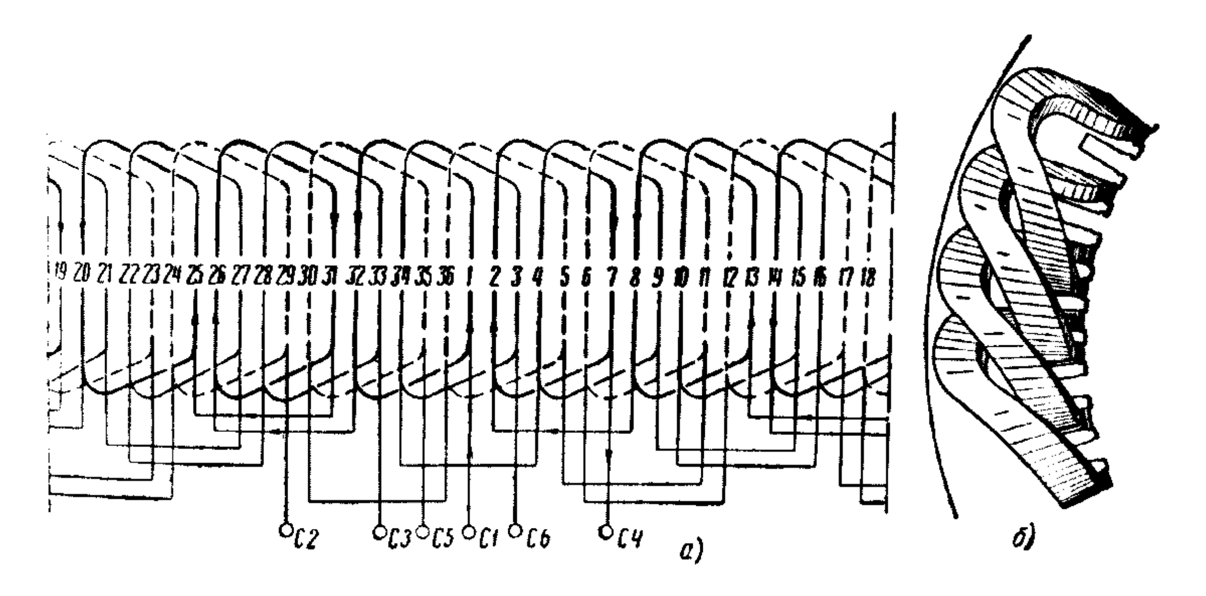


Рис. 64. Схема цепной обмотки с укороченным шагом (*а*) и вид ее лобовых частей (*б*)

§26. Укладка в пазы концентрических обмоток.

Концентрические обмотки малых машин из круглого провода при закрытой форме паза наматывали впротяжку (рис. 65). Изоляция паза при напряжении до 220В состояла из нескольких слоев электрокартона, который наматывали на деревянную линейку и вставляли в пазы с торца статора или ротора.

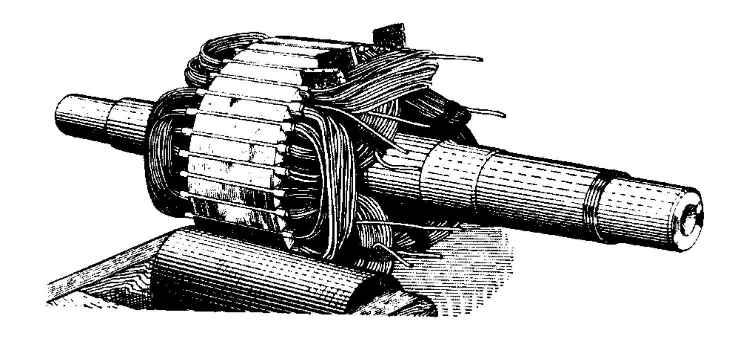


Рис. 65. Ротор в процессе укладки концентрической обмотки.

В пазы, в которые должны были быть намотаны стороны катушки, вставляли стальные спицы диаметром на 0,1 мм. больше диаметра изолированного провода в количестве, равном числу проводов в пазу. В соседние пазы внутри шага катушки вставляли хвостовики деревянных шаблонов, вокруг которых выгибали лобовые части катушки. Процесс намотки должен был вестись, начиная с внутренней катушки катушечной группы. Внутри катушки должно было оставаться $2q$ свободных пазов. Процесс намотки катушки концентрической обмотки выполнялся в следующем порядке. Сматывали с бухты провод длиной, равной развернутой длине катушки, и натирали его парафином. Намотку выполняли два обмотчика. Первый вытягивал из паза одну спицу, а второй проталкивал вслед за спицей конец провода до тех пор, пока он не выходил с противоположной стороны статора или ротора. Первый обмотчик захватывал пассатижами конец провода и протягивал его через паз. В это время второй обмотчик направлял провод, не допуская резких перегибов и образования барашков. Когда весь отмотанный от бухты провод был протянут через паз, второй обмотчик вытягивал спицу из следующего паза по шагу обмотки, а первый просовывал вслед за спицей конец провода и укладывал на шаблонах первый виток лобовой части катушки. Таким образом укладывались и следующие витки, до тех пор пока два паза не были заполнены проводами.

Спицы из пазов вынимали в определенной последовательности, обеспечивающей расположение витков в пазу согласно чертежу. Для намотки второй катушки группы отматывали от бухты провод длиной, равной развернутой длине катушки, и отрезали провод от бухты. Стальные спицы переставляли в следующие пазы и так же наматывали вторую катушку группы. Таким образом, две катушки оказывались намотанными одним непрерывным проводом. Сначала наматывали все катушечные группы с короткими отогнутыми лобовыми частями, затем между ними наматывали катушки с длинными лобовыми частями. Как видим, процесс намотки впротяжку был очень трудоемким. Он занимал в 8 – 10 раз больше времени, чем укладка в пазы современных всыпных обмоток. Иногда неправильно утверждают, что намотка впротяжку вызывается тем, что концентрические обмотки имеют переменный шаг по пазам в отличие от равнокатушечных обмоток, которые наматывают на шаблоны. В действительности необходимость намотки впротяжку вызывается не схемой обмотки, а закрытыми пазами. В единой серии асинхронных двигателей 3, 4 и 5 габаритов применяют концентрические обмотки, которые при полузакрытой форме паза наматывают на шаблон и вкладывают в пазы через прорези. Разница между концентрическими и равнокатушечными обмотками заключается только в форме шаблона, которая для концентрических обмоток делается ступенчатой в соответствии с разной шириной и длиной катушек в катушечной группе. Преимущество концентрических обмоток перед равнокатушечными цепными обмотками заключается в том, что в концентрической обмотке катушки одной катушечной группы располагаются в соседних пазах, в то время как в цепной обмотке они распределяются по окружности статора, что затрудняет укладку и намотку катушечной группы непрерывным проводом. В производстве двигателей единой серии с однослойными концентрическими обмотками пользуются торцовыми схемами, так как на них можно нагляднее показать укладку катушечных групп в пазы и расположение выводных концов обмотки относительно статора.

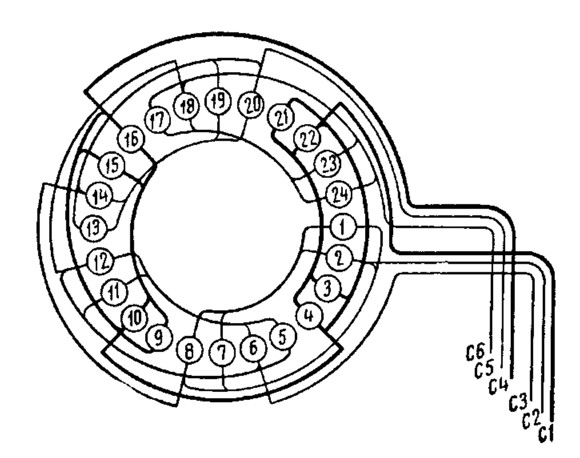


Рис. 66. Торцовая схема четырехполюсного статора.

На рис. 66 показана торцовая схема обмотки статора, имеющего 24 паза с числом полюсов $2p = 4$. Расчетный шаг такой обмотки $yz = 24 / 4 = 6$. Стороны катушки лежат в пазах 9 – 16 с шагом $yz = 7$ и в пазах 10 – 15 с шагом $yz = 5$. Средний шаг: 7 + 5 / 2 = 6, т. е. равен расчетному. Число пазов на полюс и фазу $q = 24 / 4 \times 3 = 2$, поэтому стороны катушек занимают по два паза. Внутри каждой катушки остаются свободными $2q = 4$ паза для катушек двух других фаз. Катушки соединены разноименными выводами для образования разной полярности. Угол между соседними пазами будет 2 × 360 / 24 = 30 электрических градусов. Расстояние между началами и концами фаз 120 / 39 = 4 пазовых деления, например 16 – 20 – 24. Соединения между катушками условно показаны внутри и снаружи статора. В действительности эти соединения расположены на торцах статора и привязаны к лобовым частям катушечных групп.

Выводные концы обмотки распределены на два пучка, чтобы нельзя было спутать концы фаз с началами, и имеют бирки с выбитыми на них обозначениями выводных концов. На рис. 67 изображена схема этого же статора, но обмотанного на два полюса. У этой обмотки число пазов на полюс и фазу: $q = 24 / 2 \times 3 = 4$. Однако, как видно на схеме, стороны катушек занимают по два паза. Следовательно, обмотка выполнена вразвалку. У этой обмотки, намотанной из круглого провода, мы не видим трех плоскостей в расположении лобовых частей катушек. Как видно на схеме, все катушки намотаны с перекошенными лобовыми частями и переплетаются на торцах статора. Поэтому, глядя на обмотанный статор, нельзя определить число полюсов обмотки, как у жестких концентрических обмоток. Угол между соседними пазами: 360 / 24 = 15 электрических градусов. Расстояние между выводами фаз: 120 / 15 = 8 пазовых делений, например 6 – 14 – 22.

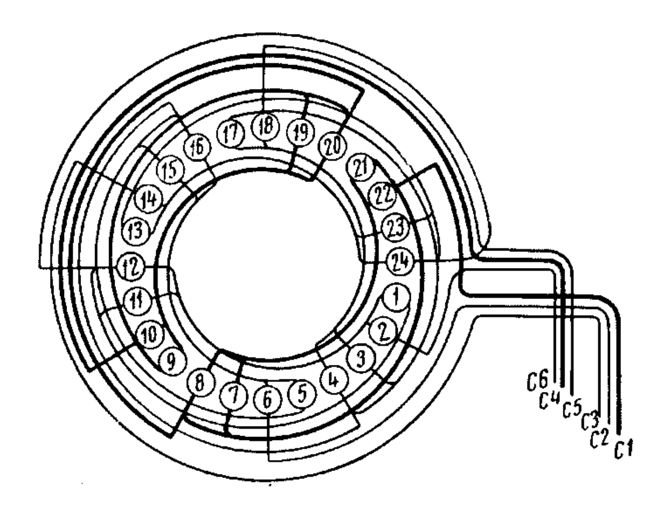


Рис. 67. Торцовая схема двухполюсного статора.

§27. Обмоточные станки для статоров.

Машины переменного тока малой мощности являются наиболее массовой продукцией электромашиностроения, поэтому очень важно при их изготовлении автоматизировать укладку обмоток в пазы статоров. Эта операция трудно поддается механизации, так как пазы расположены на внутренней окружности статора и поэтому нельзя для обмотки применить простое вращательное движение статора, как это имеет место в полуавтоматических станках для обмотки якорей (см. рис. 152).

Процесс обмотки статора, выполняемый на полуавтоматических станках, состоит из следующих этапов: изолировка пазов, укладка обмотки, заклинивание пазов. Изолировку выводных концов обмотки, соединение схемы и пайку соединений производят вручную. Полуавтоматические обмоточные станки строят двух типов. В одних статор в процессе намотки одной катушки остается неподвижным, а намотка катушки проводом в два паза производится специальным обмоточным механизмом. В станках другого типа катушка вращающимся мотовилом наматывается на шаблон, а затем защемляется на оправке и вдвигается в пазы статора.

Обмоточным станкам первого типа свойственны некоторые недостатки. Это прежде всего сложность движений, необходимых для образования витков внутри статора. В очень небольшом и тесном пространстве внутри статора приходится укладывать виток в пазы и по лобовым частям обмотки. Тяжелые массивные рабочие органы, которые совершают возвратно – поступательные движения, своей инерцией замедляют работу станков, что влияет на производительность. Эти инерционные усилия не могут быть погашены при больших скоростях, которые следовало бы задать рабочим органам станка.

На рис. 68 показан обмоточный станок этого типа швейцарской фирмы "Микафил". Статор 1 вставляют в планшайбу 2 и закрепляют кулачками. Ставят шаблон 4, зажимая его крючками 6 и рукояткой 5. Вставляют манжету 3 и соединяют ее со статором. От укладчика подводят провод в паз статора и закрепляют на диске, надевая на него чулочек. Намотка катушки происходит в результате согласованного действия обмоточного органа ("руки") и подхватывающих крючков с обоих торцов статора.

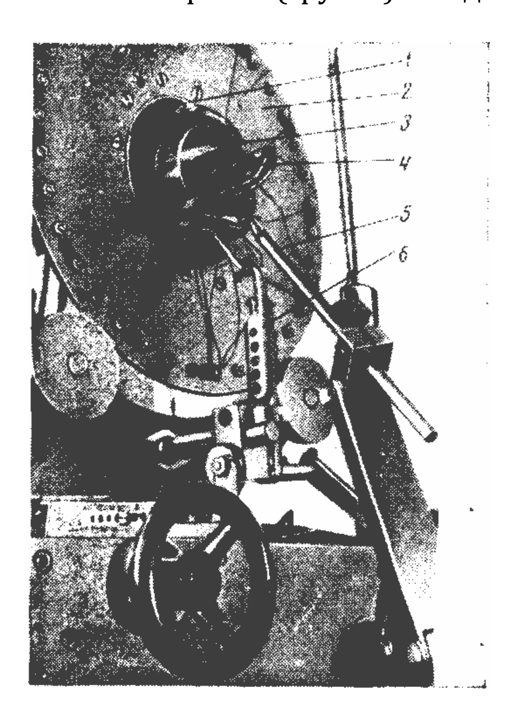


Рис. 68. Обмоточный станок фирмы "Микафил"

В конце хода вперед обмоточный орган быстро поворачивается на угол между пазами, в которых лежат стороны катушки. В начале этого движения передний крючок, двигаясь справа налево, подхватывает обмоточный провод. Образуется петля, которая располагается немного ниже козырька шаблона. Затем "рука" идет назад вдоль правого паза, стаскивая провод с переднего крюка и втягивая провод под козырек шаблона, в результате чего образуется передняя лобовая часть витка. Укладка задней лобовой части происходит аналогично при помощи заднего подхватывающего крючка. Станок имеет невысокую производительность (3 – 4 статора в час), но работает бесперебойно. Число полюсов статора от 2 до 8.

Станки второго типа позволяют достигнуть высокой производительности, потому что в них скорости рабочих органов не играют такой роли, как в станках первого типа. Намотка секций производится так же, как на обычных намоточных станках, простым вращательным движением. Затем шаблон выводится из катушки, и она вдвигается в пазы статора в осевом или радиальном направлении. Вкладывание катушки в пазы совершается с малой скоростью, так как время укладки не определяет производительности станка, которая лимитируется операцией намотки. Эти станки, как правило, бывают узко специальными. Универсальный станок для этих целей пока получить не удалось. Размеры шаблонов и рабочего механизма укладки катушек в пазы определяются размерами статора и техническими данными обмотки. Правда, есть возможность переналадки станка на другие типы статоров того же диаметра. Легко изменять также число витков и диаметр провода, но диаметр статора должен оставаться неизменным, иначе пришлось бы заменять рабочие части станка, что очень сложно. Однако при массовом выпуске двигателей единой серии создание для каждого габарита специальных станков экономически оправдывается.

Разработано уже несколько моделей обмоточных станков второго типа, например станок ОС – 627 – 31 "ВНИИэлектромеханики", станок завода "Вольта" в Таллине, станок НСП5 – 3, станок АМО–4 (ГДР) и др. Производительность их достигает 12 – 17 статоров в час, т. е. в 3 – 4 раза превышает производительность станков первого типа.

Кинематическая схема обмоточного станка, разработанного Одесским политехническим институтом, наглядно показывает принцип действия станка этого типа (рис. 69). Станок двухпозиционный, карусельного типа, с поворотным столом. На нем одновременно производится намотка одной катушки и укладка в пазы статора другой, предварительно намотанной катушки. Станок имеет электропневматическое управление и оборудован электродвигателем и шестью пневматическими цилиндрами.

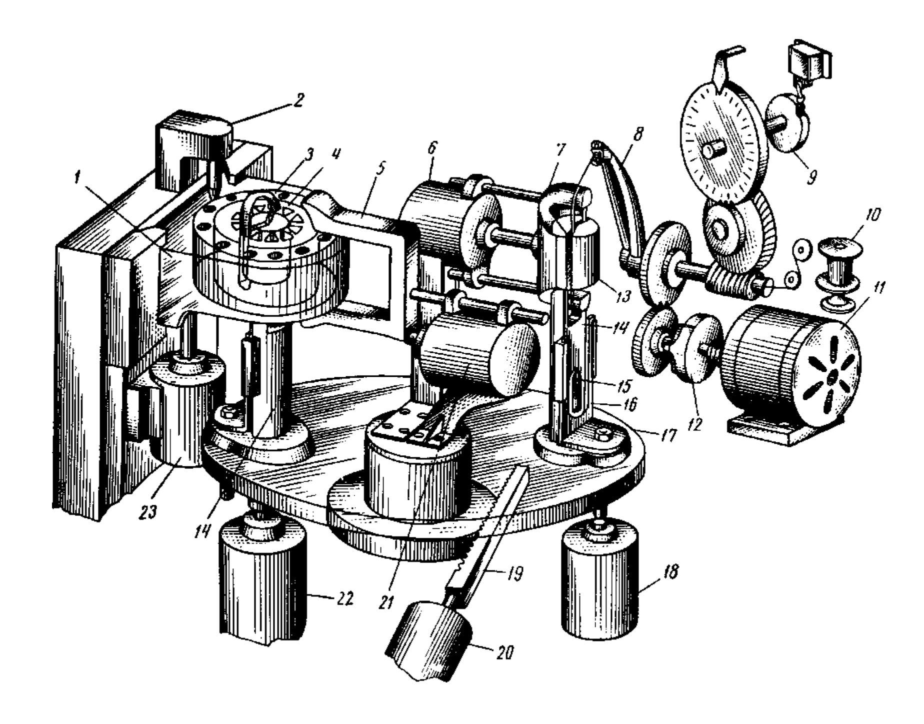


Рис. 69. Кинематическая схема обмоточного станка.

Электродвигатель 11 через фрикционную муфту с тормозом 12 и систему шестерен вращает мотовило 8. Обмоточный провод с катушки 10 через смоточное устройство подается к мотовилу. Счетчик оборотов 9, установленный на требуемое число витков, автоматически останавливает мотовило после намотки катушки. Лобовые части катушки наматываются на шаблон 7, а пазовые ее части ложатся в щели оправки 13, диаметр которой на 0,2 – 0,3 мм. меньше диаметра расточки статора. На дне щелей расположены пластины, которые могут раздвигаться клином 15, выдавливая витки катушки из щелей.

Оправка установлена на стойке 14, прикрепленной к поворотному столу 17. Края щелей оправки армированы пружинными пластинами, выступающими над ее поверхностью на 0,2 – 0,3 мм. Вторая точно такая же оправка установлена на противоположной стороне поворотного стола; она приводится в движение цилиндром 22. Над оправкой находится траверса 1, в которой закреплен барабан 3 со вставленным в него статором 4. Пазы статора предварительно изолированы гильзами. На траверсе установлен механизм поворота 2 статора с барабаном на одно пазовое деление и фиксации его в этом положении.

После намотки катушки на оправку провод отрезается от катушки, шаблон 7 пневматическим цилиндром 6 сдвигается с оправки и она опускается пневматическим цилиндром 18. При этом щели оправки запираются вилкой 16. Действием пневматического цилиндра 20 зубчатая рейка 19, находящаяся в зацеплении с цилиндрической шестерней, поворачивает стол 17 на 180°. Траверса 1 начинает опускаться при помощи пневматического цилиндра 23 и надвигает статор на оправку с катушкой. Когда траверса окажется в самом нижнем положении, клин 15 раздвинет планки на дне щелей оправки и всыпет провода в пазы статора. Выступающие пластинки по краям щелей препятствуют проводам заклиниться между статором и оправкой. Затем траверса снова поднимается и действием пневматического цилиндра 21 шаблоны 5 формуют лобовые части катушки статора, и он поворачивается на одно пазовое деление. Пока происходит процесс вдвигания катушки в пазы статора, мотовило наматывает вторую катушку на оправку, поднятую цилиндром 18. Траверса 1 и механизм намотки расположены на стенках прямоугольной неподвижной станины станка. Для доступа к катушке 10 в станине имеется дверка. Остальные механизмы укреплены на поворотном столе 17, который вращается в подшипнике скольжения. Управление цилиндрами 21 и 6 смонтировано в отверстии центральной оси станка.

Электродвигатели малой мощности широко применяют при механизации и автоматизации производственных процессов в устройствах управления и контроля, в электроинструментах и бытовых приборах. Выпуск их составляет десятки миллионов в год. В целях увеличения выпуска машин малой мощности разрабатывают автоматические поточные линии для различных процессов их производства. В связи с этим необходимо в ближайшие годы резко расширить создание и применение статорообмоточных станков.

Контрольные вопросы.
1. Какие виды однослойных обмоток вы знаете?
2. Как рассчитывают шаг обмотки?
3. Что такое число пазов на полюс и фазу?
4. В каких случаях применяют двухплоскостные и трехплоскостные обмотки?
5. Что такое электрические градусы?
6. Как составить схему концентрической обмотки?
7. В каких случаях применяют обмотки "вразвалку"?
8. Объясните построение схемы цепной обмотки.
9. Как производится обмотка впротяжку?
10. Какие принципы положены в основу станков для обмотки статоров?

Глава VIII
Двухслойные трехфазные обмотки статора.
§28. Типы двухслойных обмоток.

Двухслойными называются обмотки, у которых в пазу лежат стороны двух катушек и каждая катушка расположена в двух слоях: один слой обмотки укладывают на дно пазов, а другой располагают над ним. Лобовые части катушек также занимают два слоя и переход из слоя в слой осуществляется в головках катушек.
К двухслойным обмоткам статора относятся: трехфазная всыпная обмотка при полузакрытой форме паза; трехфазная катушечная обмотка при полуоткрытой форме паза; трехфазная катушечная обмотка при открытой форме паза; трехфазная стержневая обмотка при открытой форме паза.
Всыпную обмотку из мягких катушек в единых сериях асинхронных двигателей применяют при мощностях до 100 кВт. При мощностях 125 – 400 кВт и напряжении не выше 660В используют катушечную обмотку из жестких катушек, число которых в два раза больше числа пазов (см. рис. 17). При мощностях более 400 кВт и напряжениях выше 660В статоры имеют открытые пазы, в которые укладывают катушки с непрерывной изоляцией. Стержневые обмотки встречаются только в крупных машинах мощностью в десятки и сотни тысяч киловатт, главным образом в турбо – и гидрогенераторах.
Главными преимуществами двухслойных обмоток перед однослойными являются: возможность выбора любого укорочения шага обмотки для улучшения характеристик двигателей и генераторов, непрерывная изоляция катушек и стержней при открытой форме паза и более совершенная технология изготовления элементов обмоток и укладки их в пазы. Поэтому двухслойные обмотки – самые распространенные в статорах машин переменного тока.

§29. Диаметральный и укороченный шаг обмотки.

В отличие от концентрической двухслойная обмотка характеризуется тем, что она выполняется из однотипных катушек, которые имеют одинаковый шаг и одинаковую форму. Соединения между витками производят непрерывным проводом в процессе намотки катушки на шаблоне.

Число соединений между катушками может быть уменьшено путем намотки непрерывным проводом катушечных групп из нескольких катушек. В двухслойной обмотке шагом катушки называют расстояние между верхней и нижней сторонами катушки, выраженное номерами пазов, в которых лежат эти стороны. Шаг обмотки может быть нормальным или укороченным. Нормальный шаг обмотки определяют по формуле (2).

Если обмотка выполнена на два полюса, то нормальный шаг при $2p = 2$ будет охватывать половину окружности статора. Поэтому нормальный шаг называют также *диаметральным* шагом. Обмотки с диаметральным шагом применяют редко.

Большинство обмоток статора делают с *укороченным шагом*, так как укорочение шага улучшает электрические свойства машины. Кроме того, укорочение шага дает экономию меди в лобовых частях, так как при уменьшении ширины катушки укорачиваются и лобовые части. Обычно шаг укорачивают на $^1/_6$ диаметрального шага. Например, если диаметральный шаг обмотки равен 12, то укороченный шаг берут 10.

В двухслойной обмотке последовательно соединенные рядом лежащие катушки образуют катушечную группу. Но по уложенной в пазы обмотке трудно определить число катушечных групп, потому что все они имеют симметричную форму и лобовые части по виду напоминают плетеную корзину. В двухслойной обмотке число полюсов можно определить только по шагу обмотки. Приведем несколько примеров.

Статор имеет 48 пазов, а катушки уложены из 1 паза в 7 ($yz = 6$). Разделив 48 на 6, получим 8. Следовательно, такая обмотка выполнена на 8 полюсов.

Статор имеет 90 пазов, а шаг обмотки 1 – 9. Если катушки вкладываются в 1 и 9 пазы, то шаг обмотки $yz = 8$. Чтобы определить число полюсов, надо число пазов разделить на шаг обмотки. Но 90 не делится без остатка на 8, а число полюсов должно обязательно выражаться целым четным числом. В данном случае имеем укороченный шаг. Для определения диаметрального шага нужно подобрать ближайшее большее число, на которое 90 делится без остатка. Таким числом будет 9. Число полюсов определим, разделив 90 на 9. Значит, данная машина имеет 10 полюсов. Тот же статор можно намотать на другое число полюсов, изменяя шаг обмотки и число катушек в катушечной группе.

§30. Схемы двухслойных трехфазных обмоток.

В двухслойных обмотках, как и в однослойных, важным показателем, характеризующим обмотку, является число пазов на полюс и фазу. Его определяют так же, как и для однослойных обмоток по формуле (3).

В концентрических обмотках число пазов на полюс и фазу легко определить по виду обмотки, так как это будет число катушек в одной катушечной группе. В двухслойной обмотке число пазов на полюс и фазу нельзя определить по внешнему виду обмотки, но его можно рассчитать, зная число пазов и число полюсов. Общее число катушек двухслойной обмотки равно числу пазов, так как каждая катушка занимает две половины паза, что равносильно одному пазу.

Для уменьшения числа паек в соединениях между катушками обычно их наматывают непрерывным проводом группами по нескольку катушек, в зависимости от числа пазов на полюс и фазу. Помимо сокращения рабочего времени на паяние, непрерывная намотка катушечных групп значительно упрощает процесс их соединения и уменьшает возможность ошибок при выполнении соединений по схеме. Это объясняется тем, что при соединении схемы приходится иметь дело с меньшим числом выводов. Число катушечных групп в фазе равно числу полюсов, а во всей обмотке:

$$k = 2p \times m = 6p \quad (7)$$

т. е. вдвое больше, чем в однослойных двухплоскостных обмотках.

На рис. 70 показана развернутая схема двухслойной обмотки со следующими данными: $z = 48$, $2p = 8$, $q = 2$. Для большей наглядности схемы в ней показаны соединения проводов только одной фазы. 1 паз помещен не с краю схемы, а в середине.

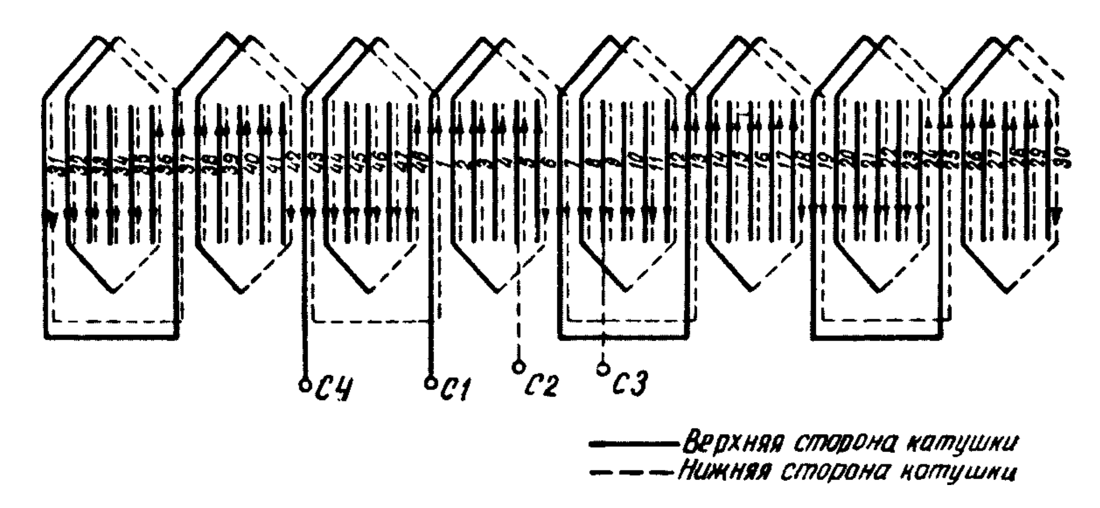


Рис. 70. Схема одной фазы двухслойной обмотки статора.

Разрез схемы выбран так, чтобы ни одно соединение между катушечными группами не было разорвано. Из схемы видно, что обмотка имеет шаг из 1 паза в 6, так как верхняя сторона первой катушки, изображенная сплошной линией, лежит в 1 пазу, а нижняя ее сторона, изображенная штриховой линией, лежит в 6 пазу. Таким образом, шаг обмотки $yz = 5$. Диаметральный шаг обмотки был бы: $yz = z / 2p = 48 / 8 = 6$

Следовательно, имеем обмотку с укороченным шагом. Число пазов на полюс и фазу этой обмотки $q = z / 2pm = 48 / 8 \times 3 = 2$. Каждая катушечная группа состоит из двух катушек. Соединения между катушками в катушечной группе осуществляются непрерывным проводом и изображены в нижней части схемы.

Проследим расположение катушечных групп первой фазы на статоре и их соединение. Начало первой фазы берем из верхней части 1 паза. Первая катушечная группа занимает верхние части 1 и 2 пазов и нижние части 6 и 7 пазов. Оставим свободными четыре ($2q$) верхние стороны пазов для катушек других фаз. Они лежат в 3; 4; 5 и 6 пазах. Следующая катушечная группа первой фазы должна лежать верхними сторонами в 7 и 8 пазах, а нижними – в 12 и 13. Третья катушечная группа первой фазы лежит верхними сторонами в 13 и 14 пазах, а нижними – в 18 и 19 пазах. Таким образом, как в верхнем, так и в нижнем слое обмотки остаются свободными по четыре половины паза для катушек других фаз. Посмотрим, как соединяются между собой выводы отдельных катушечных групп первой фазы. Конец первой катушечной группы выходит из 7 паза и должен быть соединен с одним из выводов второй катушечной группы. Первая и вторая катушечные группы фазы, смещенные на одно полюсное деление, должны быть разной полярности: одна северная, другая южная. Для этого необходимо, чтобы направление тока в них было встречное. В первой катушечной группе, как показано стрелками, ток обтекает катушку по направлению часовой стрелки. Чтобы во второй группе направление тока было противоположное, нужно соединить конец первой группы, выходящей из 7 паза, с концом второй группы, выходящим из 13 паза, как показано на схеме штриховыми линиями. Тогда направление тока в этой группе будет против часовой стрелки. Остался свободным вывод от начала второй группы, выходящий из 7 паза. Его надо соединить с одним из выводов третьей катушечной группы. Но третья группа по схеме должна иметь такую же полярность, как и первая, т. е. ток должен обтекать ее по часовой стрелке. Поэтому начало третьей группы, выходящее из 13 паза, необходимо соединить с началом второй группы, выходящим из 7 паза. Это соединение показано на схеме сплошными линиями.

Таким образом, для двухслойных обмоток существует правило: при соединении катушечных групп надо соединять одноименные выводы, т. е. начало группы с началом следующей и конец группы с концом следующей. После того как все катушечные группы соединены, начало последней катушечной группы первой фазы выйдет из верхней части 43 паза. Вывод из 1 паза является началом первой фазы (С1), а вывод из 43 паза – концом фазы (С4). Чтобы облегчить изучение схемы, показана укладка катушек только для одной фазы. При обмотке статора катушки всех фаз вкладывают в пазы подряд и затем соединяют катушечные группы в фазах.

Как же выбрать расположение начал второй и третьей фаз? Они должны выходить из верхней части паза так же, как и начало первой фазы. Для определения номеров пазов, из которых будут выходить начала фаз, нужно руководствоваться тем же правилом, с которым мы познакомились при изучении однослойных обмоток, т. е. начала фаз должны быть сдвинуты на 120 электрических градусов. В схеме, показанной на рис. 70, число полюсов 2р равно 8; в окружности статора будет 360 × p = 360 × 4 = 1440 электрических градусов. Угол между соседними пазами равен 1440 / 48 = 30 электрических градусов.

Между началом первой фазы и началом второй должно быть 120 / 30 = 4 пазовых деления. Если отсчитаем от 1 паза четыре пазовых деления, получим 5 паз. Таким образом, начало второй фазы (С2) будет выходить из 5 паза, а начало третьей фазы (С3) можно нанести на схему, отсчитав четыре пазовых деления от 5 паза (получим 9 паз).

Чтобы проверить правильность схемы, следует определить, из каких пазов выходят концы фаз. Они также должны быть удалены один от другого на 120 электрических градусов, поэтому должны выходить из верхней части 47 паза (вторая фаза) и верхней части 3 паза (третья фаза). Если концы выходят из этих пазов, то схема выполнена правильно.

В машинах, у которых ток в фазе большой, делают не последовательное, а параллельное соединение катушечных групп. На рис. 71 показаны три варианта соединения катушечных групп четырехполюсной обмотки. На рис. 71*а* все катушечные группы соединены последовательно, на рис. 71*б* они соединены в две параллельные ветви и по каждой ветви протекает половина тока фазы. На рис. 71*в* обмотка соединена в четыре параллельные ветви и по каждой ветви протекает четверть тока фазы. На схемах изображены катушечные группы только одной фазы и указаны их номера 1; 4; 7 и 10. Пропущенные номера заняты катушечными группами других фаз.

Параллельные соединения должны быть выполнены так, чтобы направление тока в проводах и полярность полюсов остались теми же, *какими они были при последовательном соединении.* Это достигается соответствующим присоединением выводов катушечных групп к соединительным проводам. Направления токов и полярность полюсов обозначены на схемах (рис. 71).

В двухслойных обмотках наибольшее возможное число параллельных ветвей равно числу полюсов:

$$a = 2p \quad (8)$$

Рассматривая схему (рис. 70), можно заметить, что в 6 пазу направления токов в верхнем и нижнем проводах встречные. То же самое можно наблюдать в других пазах, отстоящих от 6 паза на величину диаметрального шага, т. е. в 12 и 18 пазах и т. д. Это всегда наблюдается в обмотках с укороченным шагом.

В каждой зоне между двумя полюсными делениями будут пазы со встречным направлением токов. Число таких пазов в зоне зависит от того, на сколько пазов принято укорочение шага. В этой обмотке диаметральный шаг 6, а укороченный 5. Поэтому в каждой зоне расположено по одному пазу со встречным направлением токов. Чтобы обеспечить получение требуемой электродвижущей силы (э. д. с.) в обмотках с укороченным шагом, приходится увеличивать число проводов в фазах.

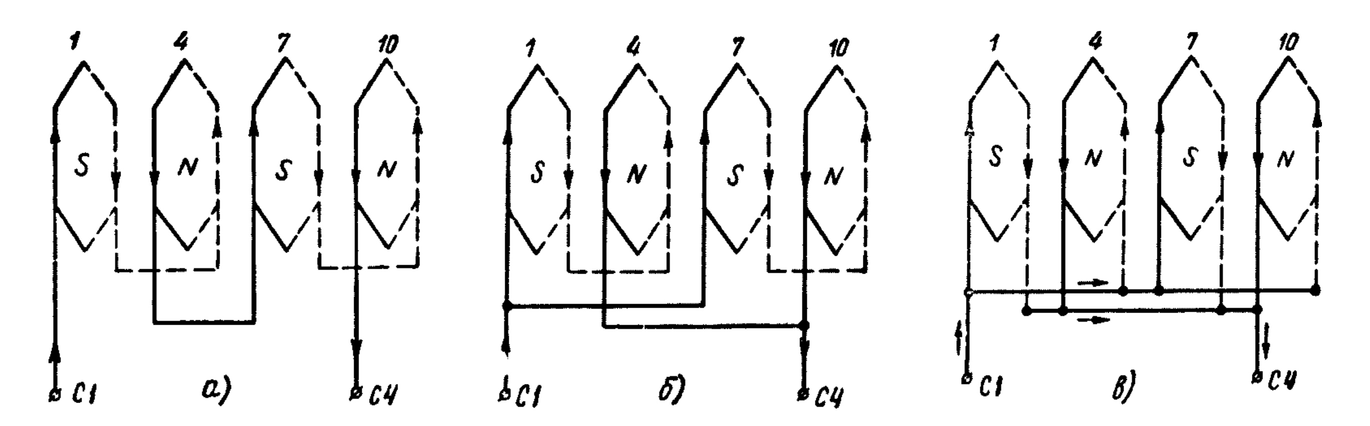


Рис. 71. Схемы соединений катушек:
а – последовательное, *б* – смешанное, *в* – параллельное.

§31. Составление схем двухслойных трехфазных обмоток.

Составление схем двухслойных обмоток покажем на примере обмотки статора со следующими данными: z = 18; $2p$ = 2; a = 1. подсчитаем диаметральный шаг обмотки по формуле (2): $yz = z / 2p = 18 / 2 = 9$. Для улучшения электрических характеристик машины возьмем yz равным 7 с укорочением шага на 2 паза, что составит примерно одну пятую от диаметрального шага. Проведем 36 вертикальных линий, которые будут представлять собой стороны катушек, лежащих по две в 18 пазах (рис. 72). В каждом пазу левую линию проведем сплошной, и она будет изображать верхнюю сторону катушки, а правую – штриховой и она будет изображать нижнюю сторону катушки. Начало первой фазы возьмем из верхней части 1 паза. Теперь соединим этот провод согласно шагу обмотки по пазам с нижней стороной катушки в 1 + 7 = 8 пазу, так как в двухслойных обмотках одна сторона катушки лежит в верхней части паза, а другая – в нижней. Число пазов на полюс и фазу у этой обмотки: $q = z / 2p \times m = 18 / 2 \times 3 = 3$. Таким образом, в катушечной группе будут три катушки. Поэтому из нижней части 8 паза переходим в верхнюю часть 2 паза, а затем в нижнюю часть 9 паза. Третья катушка соединится с верхней стороной 3 паза и затем с нижней стороной 10 паза. Это будет конец первой катушечной группы. Затем соединяем вторую катушечную группу обмотки, начиная с верхней части 4 паза и т. д. Теперь определим, где будет начало второй фазы. В данной обмотке угол между соседними пазами будет 360 / 18 = 20 электрических градусов. Расстояние между началами фаз 120 / 20 = 6 пазовых делений.

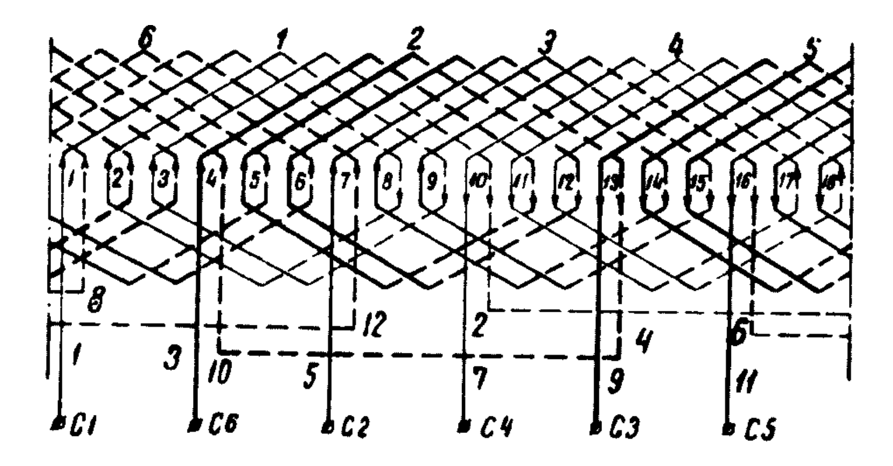


Рис. 72. Схема двухслойной обмотки статора двухполюсной машины/

Начало второй фазы должно выйти из верхней части 7 паза, а начало третьей фазы – из верхней части 13 паза. Теперь осталось соединить катушечные группы в фазах, которые должны быть соединены последовательно, так как a = 1.

К первой фазе принадлежат первая и четвертая катушечные группы, ко второй – третья и шестая, к третьей – вторая и пятая. При соединении катушечных групп руководствуемся правилом для двухслойных обмоток, т. е. в первой фазе конец первой катушечной группы соединяем с концом четвертой, во второй фазе – конец третьей катушечной группы с концом шестой и т. д.

Для проверки правильности схемы поставим стрелки, указывающие направление тока в проводах. Направления токов возьмем такие же, как на схеме, показанной на рис. 60. Когда расставим все стрелки, то увидим, что направлением стрелок обмотка делится на две зоны, что соответствует числу полюсов. Но в 8; 9; 17 и 18 пазах направление токов в проводах паза встречное. Это объясняется тем, что обмотка имеет укороченный шаг. Обычно число пазов, в которых направление токов встречное, в каждой зоне равно числу, выражающему укорочение шага. Действительно, в данной обмотке укорочение шага 9 – 7 = 2, а расположение стрелок на проводах показывает, что обмотка выполнена правильно. Второй проверкой может служить расположение концов фаз. Мы видим на схеме, что концы фаз так же, как и начала, удалены один от другого на 6 пазовых делений, т. е. на 120 электрических градусов.

На рис. 73 показана схема двухслойной обмотки статора четырехполюсной машины. У этой обмотки диаметральный шаг должен быть: $yz = 36 / 4 = 9$. На схеме мы видим, что верхний провод паза 1 соединен с нижним паза 9. Следовательно, это обмотка с укорочением шага на один паз. Число пазов на полюс и фазу: $q = 36 / 4 \times 3 = 3$, поэтому каждая сторона катушки расположена в трех соседних пазах. По формуле (7) общее число катушек $k = 6p = 12$, следовательно, в одной фазе должно быть четыре катушки.

Межкатушечные перемычки соединяют одноименные выводы, например, конец катушки 11 паза соединен с концом катушки 20 паза. Это необходимо для образования разной полярности катушек. Угол между соседними пазами будет: 2 × 360 / 36 = 20 электрических градусов.

Расстояние между началами фаз 120 /20 = 6 пазовых делений, например 1 – 7 – 13.

Чтобы облегчить чтение схемы, места разрывов лобовых частей на обеих ее сторонах обозначены буквами *а*, *б*, *в*, *г*. При переходе от правой стороны схемы к левой надо подбирать одинаковые буквы. На рис. 74 показана схема того же статора, но с двумя параллельными ветвями. Сравнивая схемы, изображенные на рис. 73 и 74, видим, что направления стрелок на проводах обмотки остались без изменения. Поэтому не изменилось и число полюсов. Но шаг у этой обмотки имеет укорочение не на один, а на два паза и верхний провод паза 1 соединен с нижним проводом паза 8. Выводные концы фаз остались на прежних местах, т. е. выходят из пазов 1 – 7 – 13.

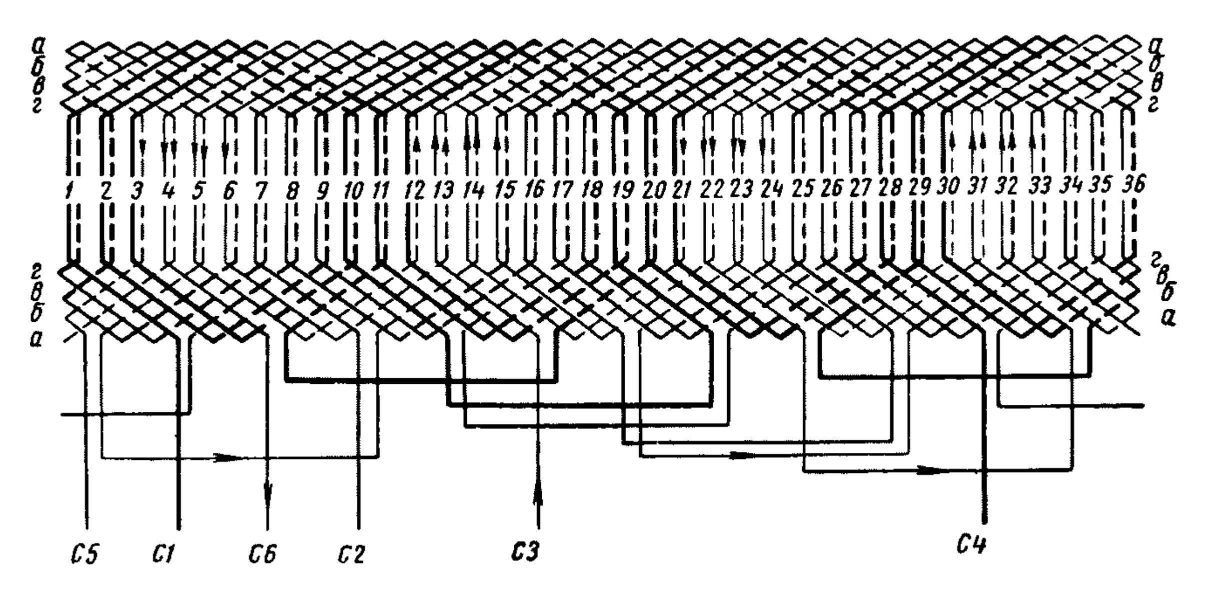


Рис. 73. Схема двухслойной обмотки статора четырехполюсной машины.

Упражнения. Начертить схемы двухслойных обмоток по следующим данным:
1) $z = 12$, $2p = 4$, $yz = 3$; 2) $z = 18$, $2p = 2$, $yz = 8$; 3) $z = 24$, $2p = 2$, $yz = 10$; 4) $z = 36$, $2p = 6$, $yz = 5$.

§32. Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Число пазов на полюс и фазу не всегда бывает целым числом. Часто встречаются обмотки, у которых число пазов на полюс и фазу выражается целым числом с дробью. В асинхронных двигателях дробное число пазов на полюс и фазу обычно получают в тех случаях, когда один и тот же статор обматывают на разное число полюсов. Тогда при одном и том же числе пазов статора число пазов на полюс и фазу для одной обмотки получается целым, а для другой обмотки – дробным. Приведем пример. Статор с 36 пазами обматывают на 6 полюсов. Такой двигатель имеет около 1000 об/мин.и число пазов на полюс и фазу: $q = 36 / 6 \times 3 = 2$
Пусть этот же двигатель требуется перемотать на меньшее число оборотов – 750 об/мин, т. е. на 8 полюсов. Тогда число пазов на полюс и фазу: $q = 36 / 8 \times 3 = 1½$. В синхронных генераторах, когда число пазов на полюс и фазу меньше четырех, его умышленно делают дробным при проектировании машины. Этим улучшают электрические характеристики машин. Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу могут быть выполнены как из одиночных катушек, так и из намотанных непрерывным проводом катушечных групп. Разница по сравнению с обмотками, имеющими целое число пазов на полюс и фазу, заключается в том, что при дробном числе обмотку приходится комбинировать из катушечных групп с разными числами катушек. При этом в каждой фазе должно быть одинаковое число пазов, иначе обмотка получится несимметричной. Обычно обмотку с дробным числом пазов на полюс и фазу комбинируют из двух типов катушечных групп, причем в одной группе число катушек равно целой части числа, выражающего число пазов на полюс и фазу, а в другой группе число катушек на одну больше. Например, если число пазов на полюс и фазу равно $2^1/_2$, то обмотку составляют из чередующихся групп, имеющих по две и три катушки. Причем после каждой группы из двух катушек следует группа из трех катушек. Таким образом, в результате чередования число пазов на полюс и фазу: $q = 2 + 3 / 2 = 5 / 2 = 2½$. Такое простое сочетание катушечных групп получают только в том случае, когда дробная часть числа, выражающего число пазов на полюс и фазу, равна ½. При других дробях комбинирование катушечных групп более сложно. Иногда дробное сочетание выражают в виде неправильной дроби $q = c / d$. Для данного примера $c = 5$; $d = 2$. Для получения симметрии обмотки необходимо, чтобы z / tm равнялось целому числу, где z – число пазов; t – общий наибольший делитель для z и p; t – число фаз. Это условие является достаточным для двухслойной обмотки. Для однослойной обмотки необходимо, кроме того, чтобы $z / 2m$ равнялось целому числу. Обмотка не будет симметричной, если знаменатель дроби равен трем. Тем не менее такие обмотки встречаются на практике.
Катушечные группы в обмотке с дробным числом пазов на полюс и фазу легко распределить при помощи следующей таблицы. На миллиметровке составляют таблицу с числом строк, равным числу полюсов, и числом клеток в строке, равным $3c$, где c – числитель неправильной дроби, выражающей число пазов на полюс и фазу. Таблицу разделяют на три одинаковых по ширине столбца с числом клеток в столбце, равным c. Затем в клетки вписывают в последовательном порядке номера пазов с шагом между ними, равным d клеткам, где d – знаменатель дроби, выражающей число пазов на полюс и фазу. Составим схему двухслойной обмотки со следующими данными: $z = 27$; $2p = 6$; $m = 3$; $q = 1½ = ^3/_2$. Для этой обмотки $t = 3$, $z / t \times m = 27 / 3 \times 3 = 3$. Таким образом, обмотка удовлетворяет условиям симметрии. Составим таблицу обмотки для разобранного выше примера (табл. 1).

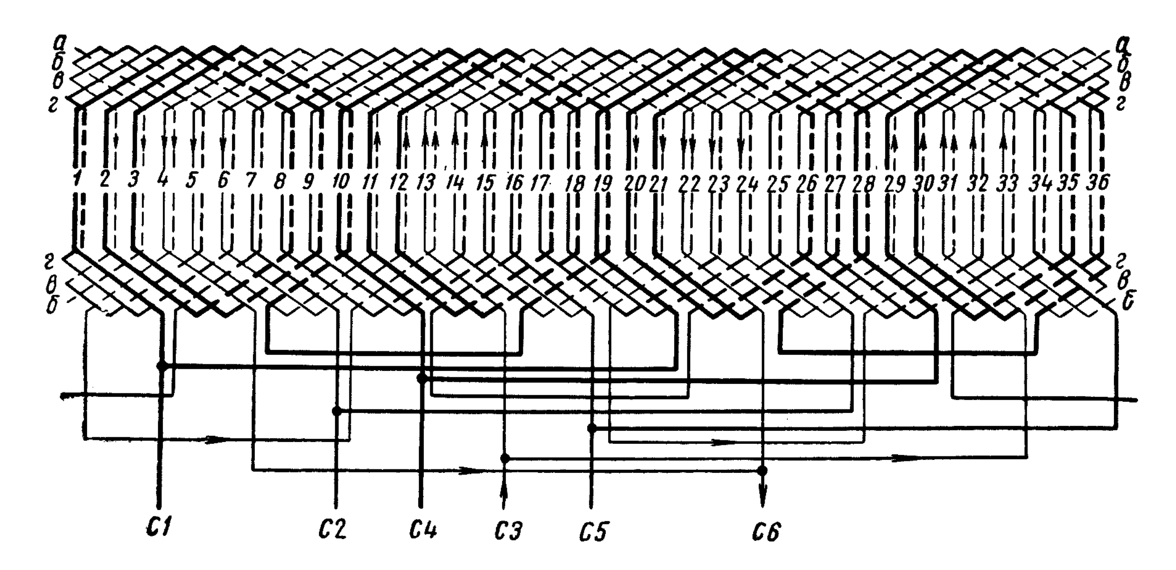


Рис. 74. Схема двухслойной обмотки статора четырехполюсной машины с двумя параллельными ветвями.

Таблица 1. Распределение пазов и катушек по фазам обмотки со следующими данными: $z = 27$; $2p = 6$; $q = 1\frac{1}{2} = {}^{3}/_{2}$.

Полюсы	Фаза А			Фаза С			Фаза В		
N	1		2		3		4		5
S		6		7		8		9	
N	10		11		12		13		14
S		15		16		17		18	
N	19		20		21		22		23
S		24		25		26		27	

Будем читать горизонтальные строки таблицы и записывать обозначения фаз столько раз, сколько номеров стоит в столбце фазы. Это покажет группировку катушек по фазам:

АА С ВВ А СС В АА С ВВ А СС В АА С ВВ А СС В.

Буквы обозначают фазы, а число одинаковых букв подряд показывает, сколько катушек содержится в катушечной группе. Для данной обмотки необходимо заготовить 9 катушечных групп по две катушки и 9 одиночных. Они займут (9 × 2) + 9 = 27 пазов. При укладке в пазы следует, согласно группировке, после каждой катушечной группы, состоящей из двух катушек, класть катушечную группу, состоящую из одной катушки. Схема обмотки показана на рис. 75. Разберем еще один пример.

Обмотка имеет следующие данные: $z = 84$, $2p = 20$, $m = 3$, $q = 1\frac{2}{5} = {}^{7}/_{5}$.

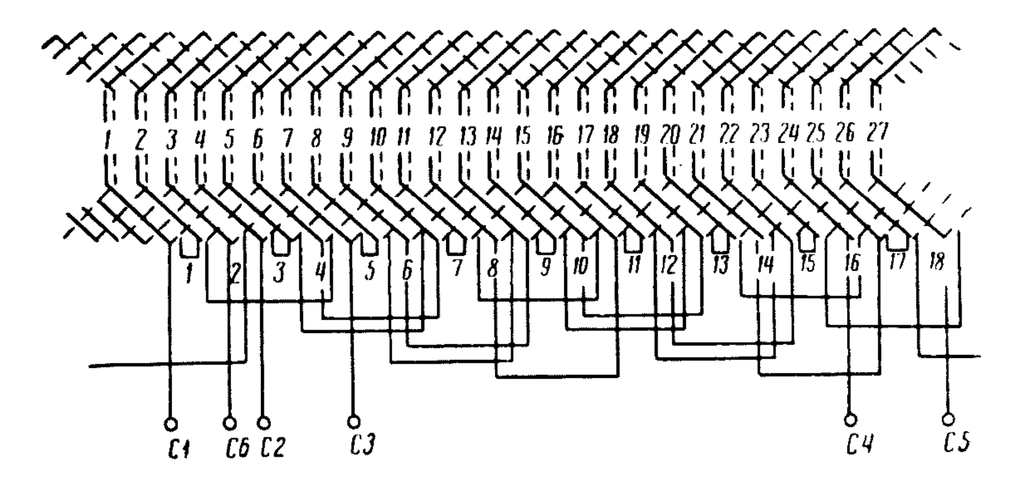


Рис. 75. Схема обмотки статора с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Сначала проверим симметрию обмотки. Для *z* и *p* есть общий делитель 2. Условие симметрии (84 / 2 × 3 = 14) выполняется. Составим таблицу обмотки с данными, приведенными в примере, разобранном выше (табл. 2). Для этого построим таблицу с числом клеток 7 в каждом столбце и начнем вписывать номера пазов с шагом 5, т. е. пропуская по 4 клетки. Таблицу не придется строить для всех 20 полюсов, так как после 5 (по числу *d*) строк порядок чередования номеров будет повторяться. По табл. 2 определим порядок чередования катушечных групп:

АА С ВВ А С ВВ А СС В А СС В АА С В АА С ВВ и т. д.

Катушечные группы расположены в таком порядке:

(2 – 1 – 2 – 1 – 1) – (2 – 1 – 2 – 1 – 1) – (2 – 1 – 2 – 1 – 1)...

Как видно из порядка чередования, оно через пять цифр повторяется. Значит, порядок укладки катушечных групп будет следующий: двойная – одиночная – двойная – одиночная – одиночная и т. д.

Таблица 2. Распределение пазов и катушек по фазам обмотки со следующими данными: $z = 84$, $2p = 20$, $m = 3$, $q = 1^2/_5 = {}^7/_5$.

Полюсы	Фаза А							Фаза С							Фаза В						
N	1					2					3					4					5
S					6					7					8					9	
N				10					11					12					13		
S			14					15					16					17			
N		18					19					20					21				
S	22					23					24					25					26

Сумма цифр в одном чередовании показывает число катушек; оно равно 7. Всего катушек должно быть 84, поэтому по всей обмотке будет 84 / 7 = 12 чередований. В каждом чередовании две двойные катушечные группы (из двух катушек) и три одиночные катушки. Всего на статор потребуется 24 катушечные группы из двух катушек и 36 одиночных катушек. При помощи таких таблиц можно определить чередование катушечных групп для любой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу. В табл. 3 показано чередование катушечных групп для наиболее часто встречающихся в практике чисел пазов на полюс и фазу. Если целое число перед дробью больше 1, то в таблице чередования надо прибавить к каждой цифре разницу между этим числом и единицей. Так, например, при $q = 1½$ в таблице чередуются катушечные группы из 1 и 2 катушек (1 – 2), а при $q = 2½$, при такой же последовательности чередуются катушечные группы из 2 и 3 катушек (2 – 3).

Таблица 3. Порядок чередования катушечных групп при дробных числах пазов на полюс и фазу.

Число пазов на полюс и фазу	Порядок чередования катушечных групп
$1^1/_2$	(1 – 2), (1 – 2), (1 – 2) и т. д.
$1^1/_4$	(1 – 1 – 1–2), (1 – 1 – 1 – 2) и т. д.
$1^3/_4$	(1 – 2 – 2 – 2), (1 – 2 – 2 – 2) и т. д.
$1^1/_5$	(1 – 1 – 1 – 1 – 2), (1 – 1 – 1 – 1 – 2) и т. д.
$1^2/_2$	(2 – 1 – 2 – 1 – 1), (2 – 1 – 2–1 – 1) и т. д.
$1^3/_5$	(1 – 2 – 1 – 2 – 2), (1 – 2 – 1 – 2 – 2) и т. д.
$2^1/_2$	(2 – 3), (2 – 3) и т. д.
$3^1/_4$	(3 – 3 – 3 – 4), (3 – 3 – 3 – 4) и т. д.
$4^1/_5$	(4 – 4 – 4 – 4 – 5), (4 – 4 – 4 – 4 – 5) и т. д.

Цифры в данной таблице чередуются не в беспорядке, а определенными периодами. Число цифр в периоде равно знаменателю неправильной дроби d, а сумма цифр в периоде равна числителю неправильной дроби с. Например, при $q = 1\frac{3}{5} = {}^{8}/_{5}$ период состоит из пяти цифр (1 – 2 – 1 – 2 – 2). Сумма этих цифр равна 8, т. е. числителю дроби. В табл. 3 периоды поставлены в скобки.

§33. Упрощенные схемы соединений и таблицы обмоток.

После укладки катушек в пазы статора приступают к соединениям выводных концов катушек. У статора с жесткой обмоткой из катушек выходят два вывода, так как у каждой катушки имеется начало и конец. Поэтому сначала надо соединить катушки в катушечные группы. Катушки соединяют в катушечные группы последовательно.

Самая ответственная операция – соединение катушечных групп в фазах. Эта операция требует от обмотчика теоретических знаний, умения разбираться в схемах и практических навыков. В условиях серийного производства, когда изо дня в день идут одни и те же машины, порядок соединения запоминается и почти механически выполняется. Но часто в цех попадают новые машины индивидуального исполнения, иногда без подробных чертежей и схем. В таких случаях обмотчик должен использовать свой опыт и знания.

Для выполнения соединений обмотчик пользуется схемами. При отсутствии схемы на данную машину он должен ее составить, прежде чем приступить к соединению катушечных групп. То сих пор при изучении обмоток мы рассматривали развернутые схемы. Но для практического пользования они не удобны. Во – первых, развернутую схему трудно начертить для машины с большим числом пазов. Во – вторых, если начертить на развернутой схеме все катушки и их соединения, то в ней легко запутаться. Поэтому для практических целей пользуются упрощенными схемами.

Если составлять развернутые схемы на все типы машин, то их получится огромное количество. Действительно, развернутые схемы будут разными при разных z, yz и q. При соединении катушечных групп в фазах обмотчик имеет дело только с началами и концами этих групп. Для выполнения соединений совершенно необязательно знать, каким шагом были намотаны катушки и сколько катушек заключено в катушечной группе.

Основным элементом при выполнении соединений является катушечная группа, а точнее ее начало и конец. На основании этого можно, прежде всего, упростить изображение катушечной группы, заменив ее двумя квадратиками (рис. 76*а*), из которых один обозначает начало, а другой – конец группы. Соединительная линия между ними и будет условно изображать электрическую цепь катушечной группы с обозначением стрелкой направления тока. На рис. 76*б* показано последовательное, а на рис. 76*в* – параллельное соединение катушечных групп. При этом соблюдено правило параллельного соединения, которое было показано на рис. 71*е*.

Приняв такие условные обозначения, можно перейти к схеме обмотки статора машины трехфазного тока. При укладке катушечных групп они размещаются в пазах подряд. При соединении же их надо отделить катушечные группы I, II и III фаз. Если мы посмотрим на любую развернутую схему обмотки до выполнения соединений, то увидим, что выводы из катушечных групп правильно чередуются: начало, конец, начало, конец и т. д. Если какую – нибудь произвольно выбранную катушку мы отнесем к 1 фазе, то следующая катушечная группа этой фазы будет иметь номер 4, следующая за ней – номер 7 и т. д. Это объясняется тем, что промежуточные номера принадлежат другим фазам. Таким образом, одну фазу можно изобразить двумя столбиками из квадратиков с номерами 1; 4; 7; 10 и т. д. Теперь надо найти номер первой катушки II фазы. Он должен быть сдвинут на 120 электрических градусов от начала I фазы. Это соответствует расстоянию, занятому двумя катушечными группами, поэтому разность номеров катушечных групп между началами фаз будет всегда 2.

В любой схеме катушечная группа 2 представляет собой конец III фазы. Чтобы изобразить трехфазную обмотку, расположим три столбика квадратиков, обозначающих начала фаз, рядом, хотя они между собой и не соединяются электрически. Аналогично расположим столбики концов фаз. Такая схема будет универсальной для всякой трехфазной обмотки независимо от ее шага и числа пазов на полюс и фазу. Число полюсов определяется числом квадратиков в вертикальном столбике.

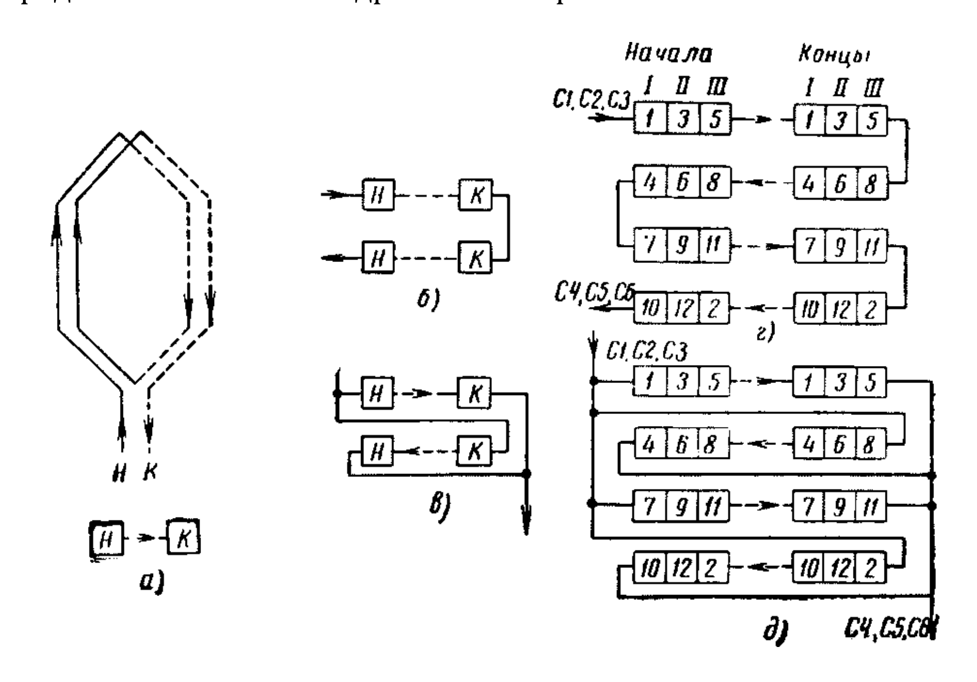


Рис. 76. Упрощенные схемы соединений обмотки статора:
а – схема катушечной группы,
б – последовательное соединение двух групп, *в* – параллельное соединение групп,
г – схема обмотки с последовательным соединением групп,
д – схема обмотки с параллельным соединением групп.

Теперь осталось обозначить способы соединения катушечных групп в фазах. На рис. 76*г* показано последовательное соединение групп, на рис. 76*б* – параллельное соединение групп в четырехполюсной обмотке. На основании таких схем можно просто выполнить соединения катушечных групп. Обмотчик отгибает выводы I фазы, идущие от катушечных групп 1; 4; 7; 10. Начало первой катушечной группы пойдет на дощечку зажимов и будет обозначено С1. Затем согласно правилу соединений в двухслойных обмотках будут соединены: конец первой катушечной группы с концом четвертой; начало четвертой группы с началом седьмой; конец седьмой группы с концом десятой. Если машина четырехполюсная, то начало катушечной группы 10 пойдет на дощечку зажимов и будет обозначено С4 (конец I фазы). Соединения во II и III фазах выполняют аналогично.

Теперь посмотрим, как произвести параллельное соединение катушечных групп в этой же обмотке (рис. 76*д*). Для этого в 1 фазе надо присоединить к одному проводу начала катушечных групп 1 и 7 и концы катушечных групп 4 и 10. Ко второму проводу присоединяют концы катушечных групп 1 и групп 4 и 10. Как видно по направлению токов в группах, полярность катушек при параллельном соединении сохраняется той же, что была при последовательном соединении. По аналогии можно составить схемы для других обмоток.

Схемы, показанные на рис. 76, очень простые, но лишены наглядности. Действительно, схема в виде рядов квадратиков не имеет никакого сходства со статором, на котором расположены катушки обмотки. Это усложняет пользование схемами, особенно для начинающих обмотчиков. Поэтому большое распространение получили торцовые схемы, построенные по тому же принципу.

Катушечные группы изображают в виде дуг окружности (рис. 77) и нумеруют так же, как па схеме, изображенной на рис. 76. Между катушечными группами указывают их соединения, которые в таком виде очень наглядны. В центре схемы показано соединение фаз обмотки, где катушечные группы условно обозначены кружочками. Упрощенные торцовые схемы получили большое распространение на многих заводах электропромышленности.

В заводской практике широко используют таблицы обмоток. В них отсутствуют всякие изображения обмотки, а имеются только цифры, обозначающие начала и концы катушечных групп. Чтобы уяснить себе табличный способ соединения катушечных групп, рассмотрим простейшую развернутую схему двухслойной обмотки, изображенную на рис. 72. На этой схеме сверху проставлены номера катушечных групп. Как во всякой двухслойной обмотке число катушечных групп равно $2pm = 6$. Каждая катушечная группа имеет начало и конец. Таким образом, в этой обмотке 12 выводных концов. Пронумеруем их, исходя из следующего правила:

№ 1 – начало первой катушечной группы;

№ 2 – конец первой катушечной группы;

№ 3 – начало второй катушечной группы;

№ 4 – конец второй катушечной группы, и т д.

Тогда на схеме номера выводов будут расставлены в следующем порядке: 1 – 8 – 3 – 10 – 5 – 12 – 7 – 2 – 9 – 4 – 11 – 6. Как показано на схеме, на дощечку зажимов выведены номера 1; 3; 5; 7; 9; 11. Согласно правилу соединения в двухслойных обмотках перемычки должны соединять одноименные выводы катушечных групп – в данной схеме концы с концами. Эти перемычки, как показано на схеме, соединяют следующие номера выводов: 2 – 8; 4 – 10; 6 – 12. Соединения обмоток приведены в табл. 4.

Таблица 4. Таблица соединений двухслойной петлевой обмотки.

Число полюсов.	Число параллельных ветвей.	Соединения катушечных групп.	Соединения с выводами на дощечке зажимов.
2	1	2 – 8; 4 – 10; 6 – 12	1 – C1; 5 – C2 9 – C3; 7 – C4 11 – C5; 3 – C6

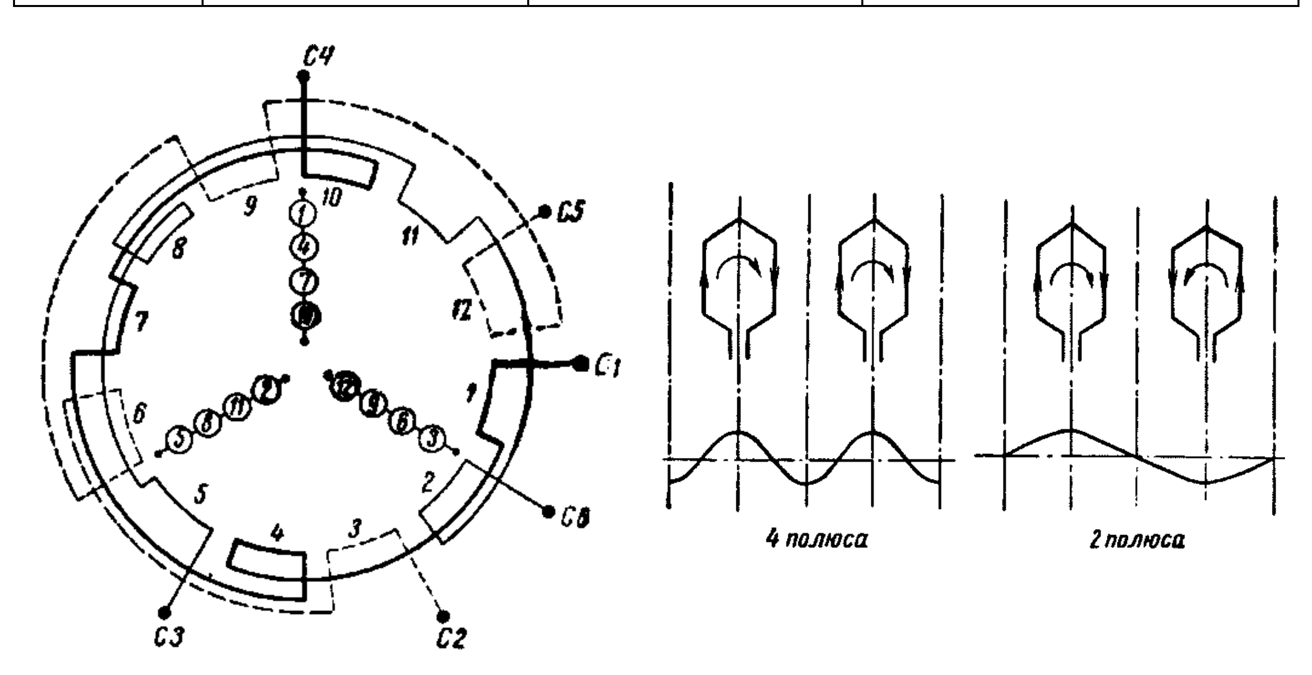


Рис. 77. Упрощенная торцовая схема.

Рис. 78. Схема переключения числа полюсов.

§34. Схемы обмоток многоскоростных двигателей.

У машин трехфазного тока скорость вращения зависит от числа полюсов. При частоте 50 пер/сек. ток в проводах обмотки меняет направление 100 раз в секунду. Если обмотка выполнена на два полюса, то при частоте 50 пер/сек. ротор должен вращаться со скоростью 50 об/сек. или 3000 об/мин. В четырехполюсной машине при одном обороте ротора в обмотке происходят изменения направления тока, соответствующие двум периодам. Поэтому скорость вращения ротора уменьшается вдвое. Скорость вращения для машины с любым числом пар полюсов p можно определить по формуле:

$$n = \frac{3000}{\text{p}} = \text{об/мин.} \quad (9)$$

Для синхронных машин формула дает действительное число оборотов ротора, а для асинхронных двигателей – условное, так как вследствие скольжения ротора он вращается с несколько меньшей скоростью. Как видно из формулы (9), изменяя число полюсов, можно изменять числа оборотов ротора. На этом принципе основана работа многоскоростных асинхронных электродвигателей, применяемых в металлорежущих станках, на элеваторах и транспортерах, в подъемных, крановых и насосных установках. Применение многоскоростных электродвигателей позволяет упростить передачи; повысить производительность установок; устранить шумы и вибрации от работы зубчатых передач; упростить автоматическое управление процессами пуска, останова, реверсирования и торможения и, наконец, что очень важно, повысить коэффициент полезного действия установки благодаря снижению потерь в передачах.
Многоскоростные электродвигатели могут быть выполнены на 2, 3 или 4 скорости. Чтобы избежать сложных устройств для переключения обмотки ротора, многоскоростные двигатели выполняют с короткозамкнутым ротором, у которого число полюсов устанавливается автоматически при переключении обмотки статора. Однако при этом надо следить за тем, чтобы не образовалось неблагоприятное соотношение чисел пазов статора и ротора для данного количества полюсов.
Двухскоростные электродвигатели можно разделить по кратности отношения скоростей на электродвигатели с отношением скоростей кратным и некратным двум. Первые почти всегда выполняют с одной обмоткой, которая переключается на разные числа полюсов, вторые – с двумя отдельными обмотками. Чтобы можно было переключать числа полюсов, обмотка должна иметь шесть выводов на дощечке зажимов и дополнительные отводы от середины каждой фазы. На рис. 78 показаны схемы переключения числа полюсов обмотки.
Общие принципы обмоток с переключением числа полюсов заключаются в следующем. Если необходимо иметь две скорости вращения при отношении их 2 : 1, то числа полюсов должны находиться в отношении 1 : 2. Например, если синхронные скорости двигателей должны быть 1500 и 750 об/мин., то обмотка должна создавать числа полюсов 4 и 8. По отношению к меньшему числу полюсов – это петлевая обмотка с последовательным соединением катушечных групп и с шагом, близким к половине полюсного деления. Удвоение числа полюсов получается при изменении направления тока в одной из ветвей фазы. Полюсное деление при этом уменьшается вдвое, а шаг обмотки близок к полюсному делению. В зависимости от условий работы электродвигателя предъявляют два основных требования к полюсопереключаемой обмотке. В одном случае для обеих скоростей нужен неизменный вращающий момент двигателя. В виде примера можно привести электродвигатель для привода воздушного компрессора, у которого необходимый вращающий момент не меняется при изменении скорости. Мощность такого двигателя возрастает пропорционально скорости вращения. В другом случае мощность двигателя должна оставаться постоянной при изменении скорости вращения.

Примером могут служить двигатели сверлильных станков. Эти требования выполняют путем соответствующего соединения фаз обмотки.

В качестве примера полюсопереключаемой обмотки возьмем асинхронный двигатель с обмоткой, переключаемой на 4 и 8 полюсов при 72 пазах статора. В этой обмотке число пазов на полюс и фазу по формуле (3): $q = 72 / 4 \times 3 = 6$,число катушечных групп: $k = 3 \times 4 = 12$, шаг обмотки по пазам: $y\text{z} = 72 / 8 = 9$ (1 – 10).

На рис. 79 показана схема этой обмотки для постоянного вращающего момента при обеих скоростях вращения. Рассмотрим фазу А. Из четырех катушечных групп этой фазы группы 1 и 7, лежащие под полюсами одной и той же полярности, соединяют последовательно. Также соединяют последовательно катушечные группы 4 и 10, лежащие под полюсами противоположных полярностей. Выполнив аналогично соединения для других фаз, получим по две ветви в каждой фазе. На рис. 80, а изображена принципиальная схема соединений этой обмотки на четыре полюса. Она представляет собой двойную звезду. К трехфазной сети присоединяют выводы С4, С5, С6; выводы С1, С2, С3 замыкают между собой.

Переключение на восемь полюсов может быть получено соединением двенадцати катушечных групп в треугольник (рис. 80*б*). При этом меняется направление тока в катушечных группах 4 и 10; 6 и 12; 2 и 8. Для соединения с трехфазной сетью надо выводы С1, С2, С3 присоединить к сети, а выводы С4, С5, С6 оставить разомкнутыми. При необходимости получить для обеих скоростей вращения постоянную мощность надо соединить обмотку по схеме, показанной на рис. 81. При этом соединение с сетью должно быть в треугольник для четырех полюсов и в двойную звезду для восьми полюсов. Рекомендуется учащимся самостоятельно построить принципиальные схемы для этого случая, подобно схеме, изображенной на рис. 81. При отношении скоростей, некратном двум, обычно применяют две раздельные обмотки. В машинах малой мощности с мягкими катушками две двухслойные обмотки вкладывают в пазы одну над другой, получая таким образом четыре слоя в пазах и лобовых частях. Для двигателей большей мощности обе обмотки укладывают таким образом, чтобы получилось два слоя как в пазах, так и в лобовых частях. Обмотки получаются как бы встроенными одна в другую.

Рис. 79. Схема обмотки двухскоростного двигателя с постоянным вращающим моментом.

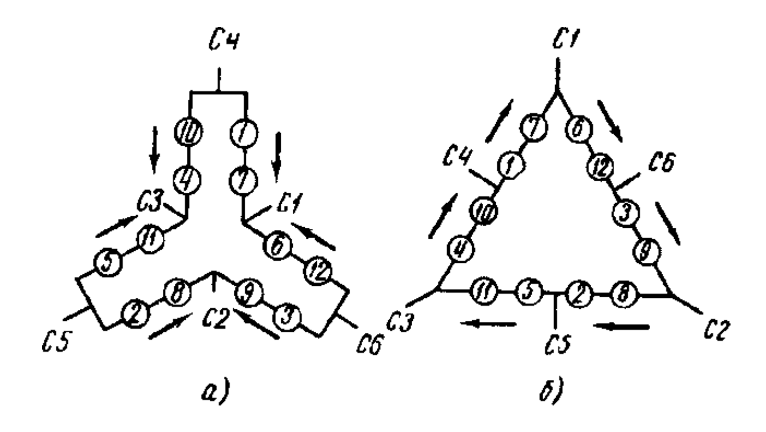


Рис. 80. Принципиальные схемы обмотки двухскоростного двигателя:
а – включение на четыре полюса, *б* – включение на восемь полюсов.

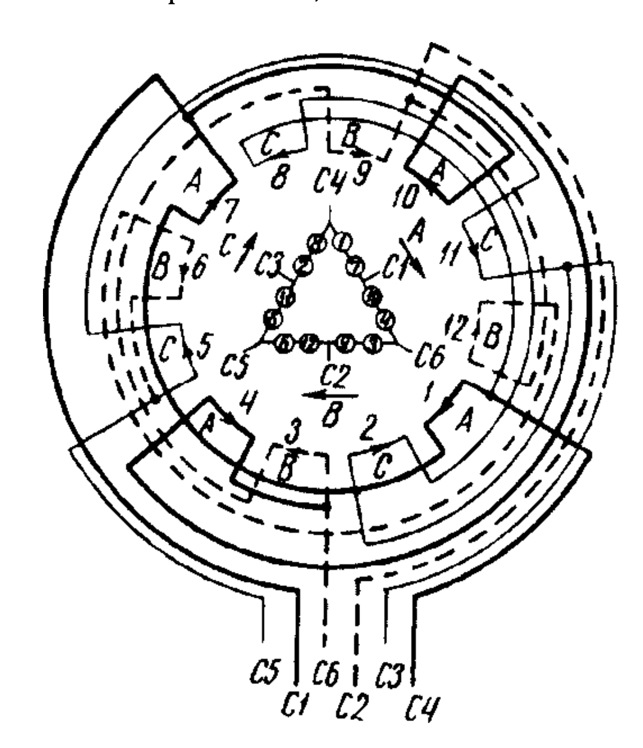


Рис. 81. Схема обмотки двухскоростного двигателя с постоянной мощностью.

Если в нечетных пазах на дне лежат стороны катушек для меньшего числа полюсов, а над ними стороны катушек для большего числа полюсов, то в четных они меняются местами. Для выполнения этого требования число пазов статора должно быть четным, все катушки должны иметь одинаковый шаг, выражающийся нечетным числом, и толщины катушек должны быть примерно одинаковыми. Соединения обмоток производят на противоположных сторонах статора. Разберем пример.

Отношение скоростей 3 : 2, а значит отношение чисел полюсов 2 : 3. Числа полюсов в данном примере 8 и 12, число пазов статора 144. Полюсное деление восьмиполюсной обмотки равно 144 / 8 = 18 пазовым делениям, а для двенадцатиполюсной обмотки 144/ 12 = 12 пазовым делениям. Шаг обмотки выбирают меньше полюсного деления обмотки с меньшим числом полюсов и больше полюсного деления обмотки с большим числом полюсов. В данном случае можно взять шаг, равный 13 пазовым делениям (1 – 14). При этом шаг составляет 13 / 18 × 100 = 72% полюсного деления восьмиполюсной обмотки и 13 / 12 × 100 = 108% полюсного деления двенадцатиполюсной обмотки.

Рассмотрим еще один пример. Отношение скоростей 7 : 5, т. е. отношение чисел полюсов 5:7. Числа полюсов в данном примере 10 и 14, число пазов статора 168. Полюсное деление десятиполюсной обмотки равно 168 / 10 = 16,8 пазового деления, а четырнадцатиполюсной обмотки 168 / 14 = 12 пазовых делений.

Шаг обмотки может быть выбран равным 13 пазовым делениям (1 – 14). При этом шаг обмотки составляет 13 / 16,8 × 100 = 77,4% полюсного деления для десятиполюсной обмотки и 13 / 12 × 100 = 108% полюсного деления для четырнадцатиполюсной обмотки.

Для получения постоянного вращающего момента надо обмотку с большим числом полюсов соединить в звезду, а с меньшим числом полюсов – в треугольник. Чтобы получить постоянную мощность, следует обе обмотки соединить в звезду. Чтобы не появлялись токи при включении одной из обмоток, надо разомкнуть все контуры в другой обмотке. Такими контурами могут быть треугольник или параллельные ветви двойной звезды.

Если требуется три скорости, из которых две имеют отношение 2 : 1, то могут быть использованы две встроенные одна в другую обмотки, рассмотренные выше. Наиболее часто встречающиеся отношения чисел полюсов 4/6/8; 6/8/12; 8/12/16 и 12/16/24. Здесь также надо размыкать все контуры одной обмотки при включении другой.

Если требуются четыре скорости, две из которых имеют отношение 2 : 1, то используют две различные обмотки. Возможны два способа получения четырех скоростей:

1) обмотки размещаются в пазах в четыре слоя, причем два верхних слоя принадлежат одной обмотке, а два нижних – другой.

2) используют две встроенные обмотки, наматывая каждую через один паз.

Типичным примером четырехскоростного двигателя может служить двигатель с отношением чисел полюсов 6/8/12/16.

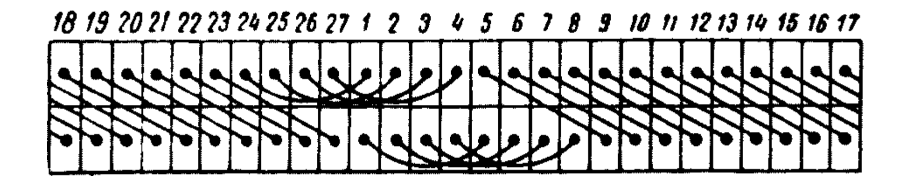


Рис. 82. Схема укладки катушек в пазы.

§35. Укладка в пазы всыпных обмоток.

Укладку в пазы двухслойных обмоток статора производят вручную. Катушки двухслойной обмотки укладывают в пазы группами, так как они были намотаны на шаблоне. Укладку выполняют следующим образом. Провода обмотки распределяют в один слой и вкладывают стороны катушек, прилегающие к дну паза. Другие стороны катушек не вкладывают в пазы до тех пор, пока не будут вложены нижние стороны катушек во все пазы, охватываемые шагом обмотки. После этого следующие катушки вкладывают в пазы одновременно нижними и верхними сторонами.

При укладке двухслойной обмотки статора машин малых размеров затрудняют работу стороны катушек, которые остаются не вложенными в пазы в процессе укладки катушек первого полюсного деления. Рационализаторы – обмотчики предложили для таких машин порядок укладки катушек в пазы, схематически показанными на рис. 82, при котором первые катушки кладут в пазы сразу двумя сторонами и осаживают на дно пазов. После того как уложены катушки, охватывающие шаг обмотки, следующие катушки укладывают одной стороной на дно паза, а другой – в верхнюю часть паза. Последние катушки укладывают обеими сторонами в верхние части пазов.

Одним из средств подъема производительности труда при укладке всыпных обмоток статора асинхронных двигателей является разделение процесса на отдельные части со специализацией обмотчиц на определенных операциях. Это увеличивает производительность труда не менее чем на 30%. Во всяком статоре первые катушки укладывать значительно легче, чем следующие, у которых труднее укладывать лобовые части. Поэтому на разных рабочих местах укладывают разное число катушек в одно и то же рабочее время.

Это является необходимым условием для организации поточного производства, определяющим ритм работы конвейера.

На рис. 83 показан обмоточный конвейер пластинчатого типа для обмотки статоров крановых электродвигателей на заводе "Динамо". Ввиду того что производственная программа может меняться, рабочие места приспособлены для обмотки двух соседних по мощности габаритов двигателей. После окончания обмотки статоры поступают на испытательную станцию. Годные подвешиваются на крюки пропиточного конвейера, а неисправные возвращаются для ремонта. В процессе обмотки статоров есть операции, требующие затраты значительных усилий. Так, например, поворачивать статор вручную тяжело. При поворотах краном много времени уходит на ожидание крана. На конвейере предусмотрены приспособления для поворота статора. Круглые поворотные столы на шариковых опорах позволяют одной обмотчице укладывать лобовые части на обоих торцах статора, поворачивая его к себе то одной, то другой стороной. Для поворотов вокруг горизонтальной оси к торцам статора крепят специальные кольца, которые опираются на ролики поворотного приспособления. Таким образом, поворачивая статор, обмотчик может вкладывать в пазы все катушки в удобном для нее положении статора.

На рис. 84 показан кантователь для обмотки статоров асинхронных двигателей единой серии 8 – 9 габаритов весом до 600 кг. Кантователь представляет собой стальное кольцо 11, установленное на раме 13 и опирающееся на четыре желобчатых ролика 12. Один из роликов 8 приводной, а остальные три – направляющие. К кольцу консольно приварена опорная площадка 9 для установки статоров. Консольное расположение площадки позволяет легко ставить и снимать краном обматываемые статоры. На площадке имеются два диагонально расположенных штифта 1, которые при установке входят в отверстия в лапах станины 14. В два других отверстия вставляют болты 10, крепящие станину к площадке. Кантователь приводится от электродвигателя 2, который через шкив 3 клиноременной передачи 5 вращает червячный вал 6 редуктора 7. Натяжение ремней регулируется болтами 4. Вал червячной шестерни редуктора соединен жесткой муфтой 19 с осью ведущего ролика 17. В желобке этого ролика помещена ведущая звездочка 18, которая входит в зацепление со звеньями стальной цепи 15, обтягивающей обод кольца 12. Ролики 17 вращаются на роликоподшипниках 16. Время полного поворота кольца составляет 20 сек. Привод реверсивный, что позволяет вернуться к пройденной части окружности статора.

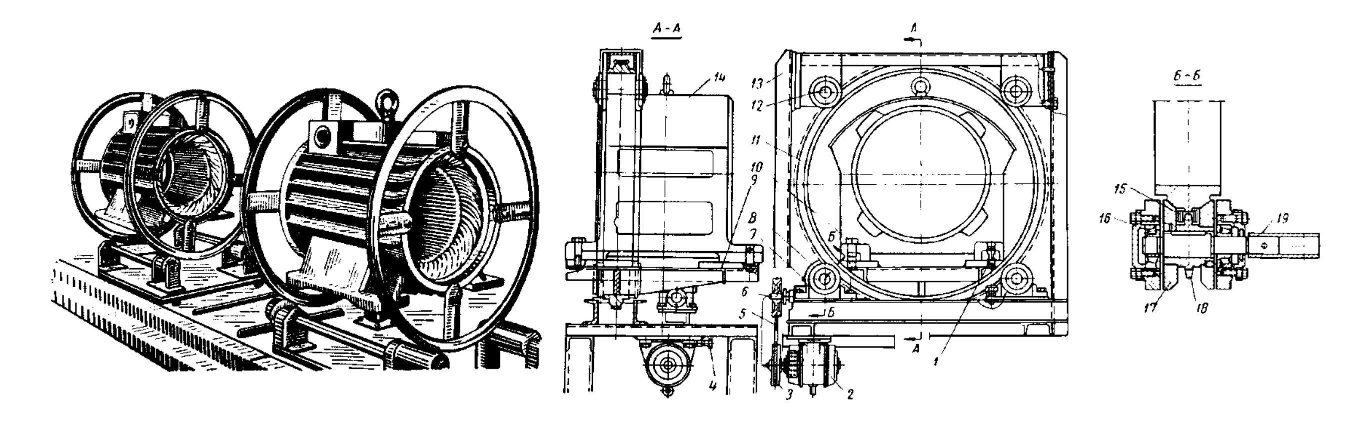


Рис. 83. Обмоточный конвейер для обмотки статоров.

Рис. 84. Кантователь для обмотки статоров двигателей 8 – 9 габаритов.

§36. Укладка обмоток статора в открытые пазы.

В открытые пазы вкладывают катушки машин напряжением 3 и 6 кВ. В отличие от всыпных обмоток эти катушки изолированы микалентой и компаундированы.

Поэтому пазовые гильзы в таких машинах или отсутствуют или представляют собой однослойную коробочку из электрокартона, служащую для механической защиты изоляции катушки при укладке в пазы.
Перед укладкой катушек пазы тщательно осматривают, очищают от заусенцев и выступающих листов, так как в высоковольтных обмотках они могут служить причиной пробоя изоляции. После этого их продувают сжатым воздухом из шланга, покрывают лаком при помощи кисти или пульверизатора и просушивают на воздухе.
Затем устанавливают бандажные кольца, которых может быть от двух до четырех с каждой стороны статора (в зависимости от длины лобовых частей). В нажимные плиты сердечника статора ввинчивают шпильки 2, изолированные миканитом 1 (рис. 85, а). Так как лобовые части обмотки образуют коническую поверхность, то бандажные кольца 3 и 4 должны быть разных диаметров. Каждое бандажное кольцо крепят к ряду шпилек стальными ушками, приваренными к кольцам. Этими ушками кольца надевают на шпильки и завертывают гайками. Бандажные кольца изолируют до постановки их на статор лентой из лакоткани и микалентой, а поверх – киперной лентой. Эти кольца защищают лобовые части катушек от деформаций под действием электродинамических усилий при протекании через обмотку больших токов и помогают ровнее уложить лобовые части обмотки.

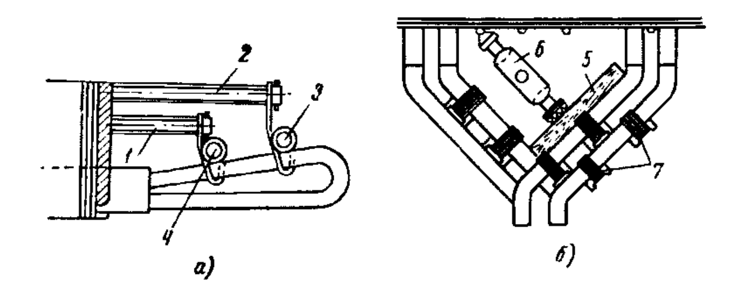


Рис. 85. Укладка обмоток в пазы:
а – крепление лобовых частей, *б* – рихтовка лобовых частей.

Укладку катушек выполняют два обмотчика, стоящие с торцов статора. Катушки обычно выполняют так, что если смотреть со стороны выводов, то правые стороны катушек ложатся на дно паза (правые катушки).
При укладке первых катушек в открытые пазы нельзя оставлять левые части не вложенными в пазы, так как они могут быть повреждены и помешают укладке других катушек. Поэтому катушки первого шага обмотки кладут так, что правые стороны ложатся на дно пазов, а левые стороны находятся временно в верхнем слое других пазов, отстоящих от первых на величину шага обмотки. Чтобы сделать миканитовую изоляцию катушек более упругой, их нагревают до температуры 85 – 90°С, пропуская ток. При укладке следующей катушки правая ее сторона ложится на дно пустого паза, а левая – в паз, в котором уже лежит правая сторона другой катушки. Между катушками в паз вкладывают прокладки из электрокартона или другого изоляционного материала. Также вкладывают и следующие катушки, пока в процессе укладки обмотчики не дойдут до последних катушек. Тогда нагревают временно вложенные левые стороны катушек первого шага, пропуская через них ток, и поднимают их из пазов. При этом в лобовых частях катушек получаются перегибы. Вкладка этих катушек особенно трудна и требует осторожности, так как обычно нарушается изоляция именно этих катушек. Затем вкладывают в пазы обеими сторонами последние катушки и снова опускают в пазы поднятые левые стороны катушек первого шага. На этом процесс укладки катушек в пазы заканчивается.
При укладке в пазы пользуются следующими приемами. Стороны катушки опускают до уровня расточки статора легкими ударами молотков через подушку, состоящую из нескольких полос картона, обвитых хлопчатобумажной лентой.

Осаживают катушку на дно паза ударами по осадочной доске, толщина которой равна ширине паза, а длина – длине пазовой части катушки. Для окончательного осаживания стороны катушки на дно паза в его "ласточкин хвост" с обеих сторон вставляют стальные клинья. Катушки опускаются под давлением двух встречных деревянных клиньев, которые забивают в паз с двух сторон статора. При этом катушка опускается параллельно дну паза и не перегибается. Все эти операции оба обмотчика производят одновременно над обеими сторонами катушки, чтобы она не деформировалась. После заклиновки лобовые части привязывают шнуром к бандажным кольцам. Под шнур подкладывают прокладки из электрокартона. В процессе укладки катушек рихтуют лобовые части. Для этого к ним прикладывают деревянную планку 5 (рис. 85*б*), в середину которой ставят домкрат 6, чтобы отвести и выправить лобовую часть. Другим концом домкрат упирается в нажимной палец, прессующий зубец статора. В середине домкрата имеется отверстие для стального прута, которым поворачивают гайку. Лобовые части рихтуют, пока катушки еще не остыли. Окончив рихтовку, привязывают лобовые части к бандажным кольцам. Лобовые части высоковольтных машин располагают не вплотную, как на якоре или во всыпных обмотках статора, а с промежутками. Перекрещивающиеся слои лобовых частей образуют решетку для циркуляции охлаждающего воздуха. Чтобы придать обмотке жесткость и выдержать равномерные зазоры между лобовыми частями, к ним привязывают шнуром деревянные дистанционные прокладки 7. Их располагают на лобовых частях соседних катушек в шахматном порядке, как показано на рисунке. После укладки всех катушек и крепления лобовых частей в пазы поверх катушек ставят прокладки, заклинивают пазы текстолитовыми клиньями и производят испытания витковой и корпусной изоляции. Производительность труда и качество укладки обмотки крупных машин в пазы статора во многом зависят от того, насколько статор может быть поставлен в удобное для обмотчиков положение. Перекантовывать вручную статор крупной машины невозможно.

На Харьковском электромеханическом заводе разработана конструкция кантователя для статоров весом 10 – 15 т. Он имеет два консольных вала 2 (рис. 86), поверхность которых покрыта резиной. На эти валы навешивают внутренней окружностью обматываемые статоры. Валы имеют привод от электродвигателя 4 через редуктор 5 и червячную пару 3. Все механизмы помещены в корпусе 1 на площадке 7 и защищены ограждением 6.

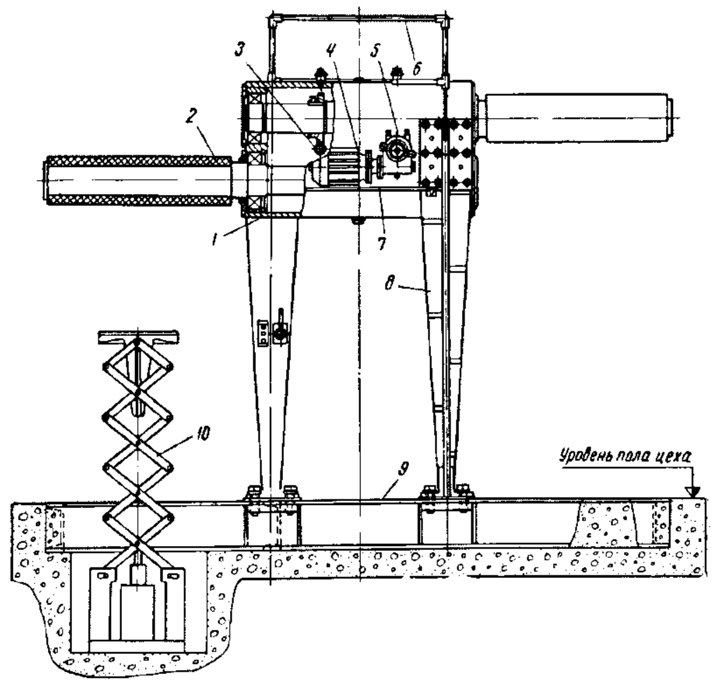


Рис. 86. Кантователь для обмотки крупных статоров.

Кантователь установлен на сварной стойке 8, которая укреплена на фундаментной плите 9. Скорость вращения вала 1,5 об/мин. Статор перекатывается силой трения между сердечником статора и валом. Кантователь предназначен для статоров с диаметром расточки от 810 до 1850 мм. и длиной сердечника до 1080 мм. На нем можно одновременно обматывать два статора. При некоторых операциях, например при забивке клиньев в пазы, статор может раскачиваться на валу. Поэтому в конструкции кантователя предусмотрен механизм поджатия 10, представляющий собой пневматический цилиндр со штоком, который может упираться в нижнюю точку станины с усилием 100 кг. Однако практика применения кантователя показала, что при обмотке тяжелых статоров раскачивание незначительно и в ряде случаев можно обходиться и без этого механизма. Кантователи подобной конструкции используют и для других операций, например для продораживания коллекторов крупных машин до насадки коллектора на вал якоря. Применение кантователей повышает производительность труда, делает работу безопасной и менее утомительной.

Контрольные вопросы.
1. Какие типы двухслойных обмоток вы знаете?
2. На каком расстоянии должны быть расположены начала и концы фаз?
3. Расскажите, в каком порядке составляется схема двухслойной обмотки статора.
4. Как располагают катушечные группы в обмотках с дробным числом пазов на полюс и фазу?
5. По какому принципу строятся упрощенные схемы обмоток статора?
6. Как изображается упрощенная схема обмотки торцового типа?
7. Расскажите о составлении таблиц соединений двухслойной обмотки.
8. Чем отличаются схемы двухскоростных двигателей с постоянным вращающим моментом от схем двигателей с постоянной мощностью?
9. По какому принципу составляются схемы трех – и четырехскоростных двигателей?
10. Как производится укладка обмоток статора в открытые пазы?

Глава IX
Типы однофазных двигателей.
§37. Принцип действия асинхронного однофазного двигателя.

Однофазные асинхронные двигатели широко применяют в схемах электромашинной автоматики и бытовых электроприборах. Их изготовляют более десяти миллионов в год. Однофазные двигатели используют всюду, где нет трехфазного тока. Разработаны всесоюзные единые серии однофазных асинхронных двигателей мощностью до 400Вт.
Прежде чем говорить об обмотках однофазных двигателей, ознакомимся с типами двигателей, принципами их устройства и конструкцией.
Однофазные асинхронные двигатели изготовляются с короткозамкнутым ротором. При питании обмотки статора переменным током в обмотке ротора наводятся э. д. с, поэтому нет необходимости соединять обмотку ротора с источником питания. Следовательно, у двигателей с короткозамкнутым ротором нет ни контактных колец, ни щеток, что значительно облегчает уход за ними.
Из электротехники известно, что обмотка трехфазного асинхронного двигателя при питании ее трехфазным током создает вращающееся магнитное поле, которое наводит э. д .с. в обмотке ротора. От взаимодействия токов ротора с магнитным полем создается вращающий момент, который заставляет ротор вращаться в ту же сторону, в какую вращается магнитное поле статора.
Если подключить обмотку статора к однофазному переменному току, то двигатель будет гудеть, но ротор его не стронется с места. Гудение означает, что в сердечнике статора есть магнитное поле. Это поле не вращается, а пульсирует, так же как переменный ток.

Сначала поле усиливается и достигает максимального значения, затем ослабевает и доходит до нуля. В следующий момент магнитное поле будет изменяться в обратном направлении. Таким образом, магнитное поле повторяет все изменения тока в обмотке статора.

Для объяснения принципа работы однофазного асинхронного двигателя пользуются следующим приемом. Раскладывают однофазное магнитное поле на две составляющие M_1 и M_2 вращающиеся в противоположные стороны, и производят их геометрическое сложение (рис. 87). В положении, изображенном на рис. 87*а*, обе составляющие магнитного поля M_1 и M_2 совпадают по направлению и результирующее поле M равно их арифметической сумме. Если повернуть составляющие M_1 и M_2 на один и тот же угол в разные стороны (рис. 87*б*), то их можно сложить по правилу параллелограмма, подобно двум силам в механике. При этом результирующее магнитное поле M уменьшится. При дальнейшем вращении составляющих магнитного поля M_1 и M_2 они расположатся по горизонтальному диаметру (рис. 87*в*). Очевидно, что сумма их в этот момент будет равна нулю, т. е. магнитное поле пропадет.

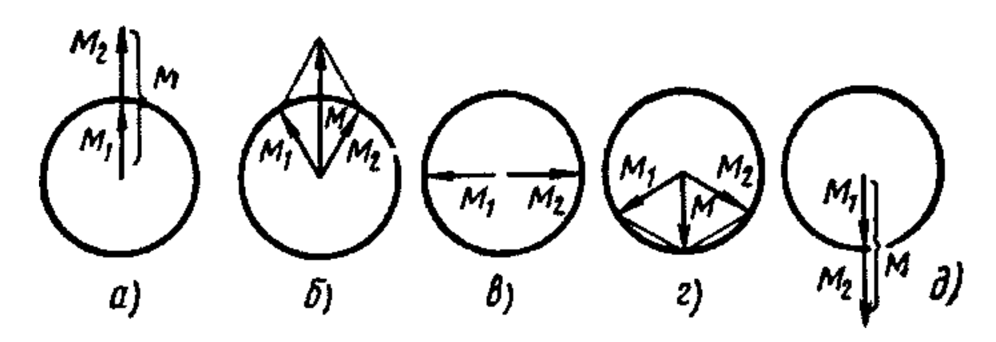


Рис. 87. Разложение однофазного поля на прямое и обратное:
а – *д* – изменения магнитного поля.

При продолжении вращения составляющих (рис. 87*г*) снова появится магнитное поле, но результирующая будет обращена вниз; значит, поле изменило направление. В положении, показанном на рис. 87*д*, магнитное поле достигнет наибольшего отрицательного значения. Рассмотренные изменения поля соответствуют половине периода. Очевидно, что при дальнейшем вращении составляющих M_1 и M_2 изменения магнитного поля будут происходить периодически по закону синусоиды.

Разложение магнитного поля на составляющие показывает, что пульсирующее магнитное поле, создаваемое однофазным током, можно приравнять к действию двух магнитных полей, вращающихся с синхронной скоростью в противоположные стороны. Каждое поле тянет ротор в свою сторону. Пока действия обоих полей равны, ротор не сможет сдвинуться с места.

Возьмем конец вала однофазного асинхронного двигателя двумя пальцами и сильным рывком повернем по часовой стрелке. Ротор начнет вращаться, быстро увеличит скорость и будет вращаться со скоростью, близкой к синхронной. Если скольжение асинхронного двигателя 5%, а синхронная скорость двухполюсного двигателя 3000 об/мин., то скорость вращения ротора будет: 3000 – 0,05 × 3000 = 3000 – 150 = 2850 об/мин. Если зажать пальцами конец вала, то можно почувствовать, что электродвигатель развивает вращающий момент. Вал остановится только тогда, когда тормозящий момент будет больше вращающего момента двигателя.

Если после остановки ротора повернуть его вал пальцами в обратную сторону, двигатель будет работать, ротор будет вращаться против часовой стрелки. Таким образом, можно убедиться, что асинхронный двигатель может работать на однофазном токе, но не может самостоятельно стронуться с места. Это явление объясняется следующим образом. Пока ротор был неподвижен, составляющие магнитного поля M_1 и M_2 действовали на него с одинаковыми силами в противоположные стороны.

Но когда ротор начал вращаться, действия составляющих магнитных полей изменились. Составляющую, которая вращается в ту же сторону, что и ротор, назовем прямым полем, другую составляющую – обратным полем. Стержни ротора пересекают прямое поле со скоростью скольжения, равной около 5% синхронной скорости. Скорость пересечения стержнями ротора обратного поля можно определить следующим образом. Ротор вращается со скоростью, близкой к синхронной, а обратное поле вращается с синхронной скоростью ему навстречу. Поэтому суммарная скорость почти равна двойной синхронной скорости, и в стержнях ротора наводятся токи двойной частоты, т. е. около 100 Гц. При такой частоте сильно возрастает индуктивное сопротивление обмотки ротора, токи будут почти чисто реактивными, не создающими вращающего момента, а только ослабляющими обратное поле. Чем быстрее вращается ротор, тем больше ослабляется обратное поле и растет вращающий момент двигателя. Однако запускать электродвигатель от руки неудобно и не всегда возможно. Поэтому разработаны самопускающиеся асинхронные двигатели однофазного тока.

§38. Двигатели с короткозамкнутым витком на полюсе.

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым витком на полюсе является самым простым типом самопускающегося однофазного двигателя (рис. 88). Статор подковообразной формы собран из штампованных листов 4 электротехнической стали. Листы изолированы друг от друга лаковой пленкой во избежание сильного нагревания статора переменным магнитным потоком, вызывающим появление вихревых токов в сердечнике двигателя.

У статора только одна катушка 1, но он двухполюсный. Расстояние между полюсными наконечниками равно ширине катушки, поэтому ее можно наматывать на станке прямо на изолированный сердечник статора. Витки катушки изолированы от сердечника гильзой 3 и двумя фланцами 2 из электрокартона. Для того чтобы можно было надеть фланцы на сердечник, имеются прорези 14. В полюсных наконечниках проштампованы два отверстия, в которые вставлены витки 5 медной проволоки, охватывающие примерно одну треть полюсной дуги. Концы витков спаяны между собой.

Ротор двигателя собран из листов 9 и имеет отверстие в центре для вала 13. В пазы, расположенные по окружности ротора, забиты медные стержни 8, которые на его торцах припаяны к медным кольцам 7. Обычно короткозамкнутые роторы выполняют со скосом пазов примерно на одно зубцовое деление.

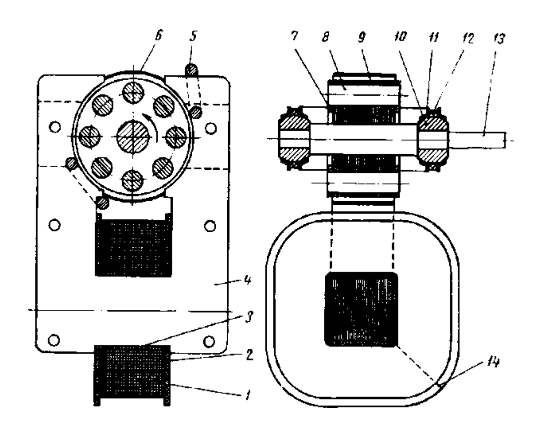


Рис. 88. Двигатель с короткозамкнутым витком на полюсе.

Ротор вращается в двух подшипниках, представляющих собой латунные втулочки 10, зажатые между пластинками 11. Шаровидная поверхность втулочек позволяет им устанавливаться по оси вала, поэтому такие подшипники называются самоустанавливающимися. Смазка к подшипникам поступает через отверстия во втулочках от пропитанной в масле фетровой шайбы 12.

Эти подшипники применяют в микродвигателях. Они проще шарикоподшипников и работают бесшумно. Ток, проходящий по катушке, создает пульсирующий магнитный поток, часть которого проходит через короткозамкнутый виток на полюсе.
Таким образом, в двигателе с короткозамкнутым витком на полюсе имеются два потока, сдвинутые на некоторый угол. Они создают вращающееся магнитное поле. Вследствие неравенства двух потоков вектор результирующего поля будет не только вращаться, но и изменяться по величине в разные промежутки времени. Поэтому конец вектора будет описывать не окружность, а эллипс. Однако этого вполне достаточно, чтобы сдвинуть ротор с места при пуске.
Однако пусковой момент у такого двигателя очень мал и составляет 20 – 40% номинального момента. Поэтому двигатели с короткозамкнутым витком на полюсе применяют только там, где не требуется большого пускового момента, например, для настольных вентиляторов, магнитофонов, проигрывателей и т. п. Двигатели с короткозамкнутым витком на полюсе нереверсивные. Ротор вращается всегда в сторону короткозамкнутого витка, что показано стрелкой на рис. 88. Чтобы изменить направление вращения, надо разобрать двигатель и перевернуть ротор относительно статора, т. е. вставить его в расточку статора другим концом. Иногда при разгоне ротор, достигнув скорости, равной ⅓ синхронной скорости, дальше не разгоняется. Для увеличения вращающего момента между наконечниками полюсов вставляют тонкие стальные пластинки 6, которые называются магнитными шунтами. В результате этого увеличивается магнитный поток, охватываемый короткозамкнутым витком, и магнитное поле больше приближается к круговому. Перегрузочная способность двигателя с короткозамкнутым витком очень мала, и максимальный момент едва достигает 1,2 номинального. Если нагрузка на валу превысит этот момент, то ротор остановится. В отличие от других типов электродвигателей в состоянии короткого замыкания ток статора увеличивается незначительно, поэтому электродвигатель может долгое время быть включенным в сеть при неподвижном роторе. Это свойство используют в некоторых схемах. Ввиду значительных потерь энергии в коротко – замкнутом витке к. п. д. двигателя не превышает 40%.

§39. Двигатели с пусковыми обмотками.

Наибольшее распространение получили однофазные асинхронные двигатели с пусковыми обмотками, у которых обмотки не сосредоточены в виде катушек, как у двигателя с короткозамкнутым витком, а равномерно распределены в пазах, проштампованных на внутренней окружности статора, как у трехфазных асинхронных двигателей. На рис. 89 показана принципиальная схема однофазного двигателя с пусковой обмоткой. У таких двигателей две обмотки – рабочая *С* и пусковая *П*. Рабочая обмотка остается включенной в сеть на все время работы электродвигателя, а пусковая включается только для трогания ротора с места и отключается выключателем 2, когда он достигнет 70 – 80% номинальной скорости вращения. Таким образом, двигатели с пусковыми обмотками пускаются как двухфазные, а работают как однофазные. В качестве выключателей применяют кнопки с ручным отключением или атомические центробежные выключатели. В цепь пусковой обмотки включают пусковой элемент 1, который чаще всего представляет собой активное сопротивление или конденсатор. Для обеспечения наилучших характеристик двигателя необходимо выполнение следующих условий:
1) рабочая и пусковая обмотки должны быть расположены по окружности статора под углом 90 электрических градусов;
2) векторы токов в рабочей и пусковой обмотке должны быть сдвинуты на ¼ периода;
3) намагничивающие силы обмоток, т. е. произведения токов обмоток на число их витков, должны быть равны.

Посмотрим, как будут взаимодействовать магнитные поля, создаваемые рабочей и пусковой обмотками. Токи их можно изобразить двумя синусоидами, сдвинутыми на ¼ периода (рис. 90). Буквой *С* обозначена синусоида тока рабочей обмотки, а буквой *П* – пусковой обмотки. В разные моменты времени векторы токов будут находиться под разными углами и поэтому их придется складывать геометрически. Проведем несколько окружностей и обозначим их теми же цифрами, что и точки на оси синусоиды. Каждая окружность соответствует одному значению токов в рабочей и пусковой обмотках. Будем откладывать поля, создаваемые токами рабочей обмотки, по горизонтальному диаметру; положительные значения поля – вправо, а отрицательные – влево. Положительные значения полей пусковой обмотки будем откладывать по вертикальному диаметру вверх, а отрицательные – вниз. Радиус окружности возьмем равным половине наибольшего значения тока на синусоиде.

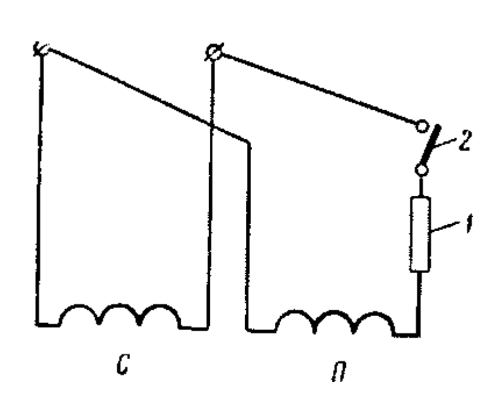


Рис. 89. Принципиальная схема однофазного двигателя с пусковой обмоткой.

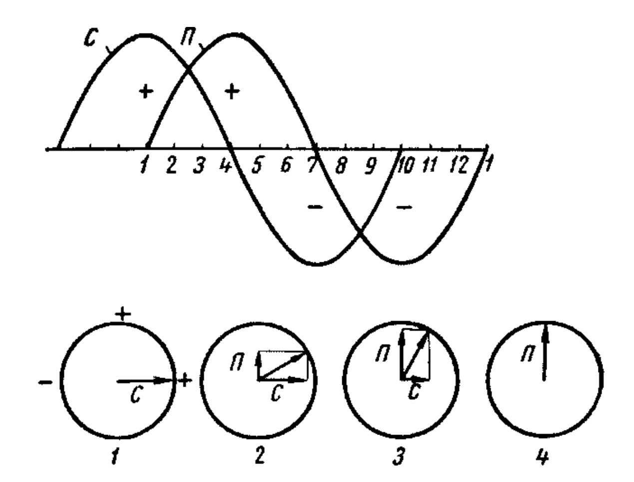


Рис. 90. Вращающееся поле однофазного двигателя с пусковой обмоткой.

На рис. 90 показаны четыре окружности для точек синусоиды 1, 2, 3 и 4. Диагонали прямоугольников – это векторы результирующего поля. Аналогично можно построить диаграммы для следующих точек. Сравнение круговых диаграмм показывает, что результирующее поле вращается с синхронной скоростью. Результирующее поле будет наводить токи в обмотке ротора и он начнет вращаться.

Конец вектора результирующего поля описывает окружность. Такое поле называется круговым. При круговом поле двигатель имеет наилучшие характеристики. Однако если не выполнено хотя бы одно из указанных выше трех условий, то поле будет не круговым, а эллиптическим. Но и при эллиптическом поле двигатели могут иметь вполне удовлетворительные рабочие и пусковые характеристики. Двигатели с пусковыми обмотками можно реверсировать. Для этого достаточно поменять местами выводные концы рабочей *С* или пусковой *П* обмотки (рис. 91).

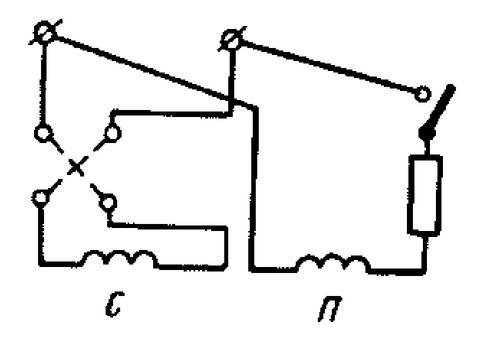


Рис. 91. Реверсирование однофазного двигателя.

§40. Двигатели с пусковыми сопротивлениями и конденсаторами.

В качестве пускового элемента однофазного двигателя с пусковой обмоткой может быть применено активное сопротивление или конденсатор. Наибольшее распространение получили однофазные двигатели с пусковым сопротивлением, которое заключено в самой пусковой обмотке. У этих двигателей рабочая обмотка занимает ⅔ пазов статора и обладает большим индуктивным сопротивлением. Пусковая обмотка занимает только ⅓ пазов статора, имеет меньше витков и, следовательно, значительно меньшее индуктивное сопротивление.
Активное сопротивление пусковой обмотки больше активного сопротивления рабочей обмотки. Она намотана проводом меньшего сечения. В двигателях, работающих с редкими пусками, сечение провода пусковой обмотки снижают настолько, что плотность тока в ней достигает 40 А/мм^2, а иногда и более. Электродвигатели, у которых пусковое сопротивление заключено в самой пусковой обмотке, называются двигателями с встроенными пусковыми сопротивлениями.
Активное сопротивление не может создать сдвиг между векторами токов рабочей и пусковой обмоток, равный четверти периода, поэтому результирующее поле будет не круговым, а эллиптическим. Эллиптическое поле можно рассматривать как сумму двух неравных по величине круговых полей, вращающихся в разные стороны. Одно из них – прямое, создающее вращающий момент, другое, – обратное, создающее тормозящий момент. Обратно вращающееся поле ухудшает пусковые и рабочие свойства двигателей.
Двигатели с встроенным пусковым сопротивлением типа АОЛБ охватывают диапазон мощностей от 18 до 600 Вт при напряжениях 127, 220 и 380 В и скоростях вращения 3000 и 1500 об/мин. (синхронных). Отношение пускового момента к номинальному составляет 1 – 1,2, отношение пускового тока к номинальному 6,5 – 9. Двигатели АОЛБ применяют там, где не требуются очень большие пусковые моменты (холодильники, стиральные машины).
Тип АОЛБ построен на трех габаритах – нулевом, первом и втором. Обозначение двигателя АОЛБ 12/4 расшифровывается так: двигатель с встроенным пусковым сопротивлением, первого габарита, второй длины, четырехполюсный. У двигателей второго габарита первая цифра в обозначении типа двигателя будет 2.
При тяжелых условиях пуска применяют двигатели с пусковыми конденсаторами, которые имеют обозначение серии АОЛГ и те же цифровые обозначения типов, что и двигатели серии АОЛБ. Двигатели обеих серий имеют одинаковые номинальные данные, размеры, веса и обмоточные данные рабочих обмоток. Пусковые обмотки у них разные, а соответственно разные и пусковые характеристики.
Как известно из электротехники, включение в цепь конденсатора приводит к тому, что ток пусковой обмотки не отстает, а опережает ток рабочей обмотки. При помощи конденсатора можно получить сдвиг токов рабочей и пусковой обмотки на 90° и таким образом создать при пуске круговое вращающееся поле. Двигатели с пусковыми конденсаторами имеют хорошие пусковые свойства, т. е. большое отношение пускового вращающего момента к номинальному (2 – 2,5), и низкую кратность пускового тока (3 – 4 номинального тока). Чтобы создать большой пусковой момент даже для небольшого двигателя мощностью 50 Вт при напряжении 127 В, требуется конденсатор емкостью 40 мкф. С повышением напряжения емкость конденсатора резко падает и при напряжении двигателя 220В составляет 15 мкф.

§41. Конденсаторные двигатели.

В двигателе с пусковой обмоткой после отключения этой обмотки ⅓ пазов статора остается неиспользованной. Поэтому такие двигатели имеют пониженную мощность. Для увеличения мощности применяют электродвигатели, у которых пусковая обмотка остается включенной.

Для создания сдвига токов в рабочей *С* и пусковой обмотках в цепь последней включают конденсатор (рис 92).

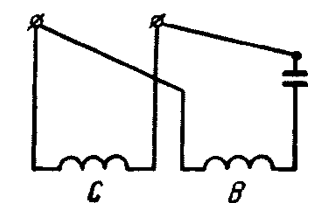


Рис. 92. Схема конденсаторного двигателя.

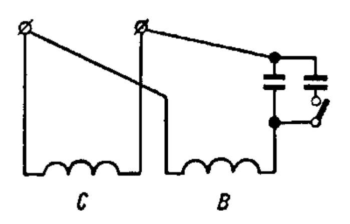


Рис. 93. Схема конденсаторного двигателя с пусковым конденсатором.

Такие электродвигатели называются конденсаторными, а пусковая обмотка, используемая при работе двигателя, называется вспомогательной или конденсаторной и обозначается буквой *В*. У конденсаторного двигателя обе обмотки занимают одинаковые числа пазов. При помощи конденсатора можно создать сдвиг между векторами токов в обмотках на 90°. Таким образом, конденсаторный двигатель работает как двухфазный. При номинальной мощности в двигателе создается круговое поле. Благодаря этому конденсаторные двигатели имеют хорошие свойства: большую мощность на валу, высокий к. п. д. (60 – 75%) и высокий коэффициент мощности (cosφ = 0,8 ÷ 0,95). Однако пусковой момент таких двигателей невысок. Обычно он не превышает 30% номинального. Это объясняется тем, что при пуске магнитное поле двигателя будет эллиптическим. Конденсаторные двигатели применяются только в условиях легкого пуска.

Для улучшения пусковых свойств двигателя в момент пуска параллельно рабочему конденсатору включают пусковой конденсатор (рис. 93). Таким образом, при пуске сдвиг токов создается двумя конденсаторами – рабочим и пусковым. После пуска пусковой конденсатор отключается кнопкой или центробежным выключателем.

Пусковой конденсатор рассчитывают на получение высокого пускового момента и малого пускового тока.

В единой серии однофазных двигателей выпускают конденсаторные двигатели типа АОЛД с рабочими и пусковыми конденсаторами. Емкость пускового конденсатора обычно значительно больше емкости рабочего конденсатора. Так, например, для двигателя мощностью 80 Вт при напряжении сети 127 В емкость рабочего конденсатора 18 мкф, а пускового – 30 мкф. Зато мощность двигателя, которая при тех же размерах у двигателей АОЛБ и АОЛГ 50Вт, в конденсаторном двигателе 80 Вт.

В настоящее время выпускают конденсаторные двигатели нового типа АВЕ, у которых высокий к. п. д., коэффициент мощности доходит до единицы, хорошие пусковые и рабочие характеристики. В эту серию входят двигатели мощностью от 10 до 400 Вт при скоростях вращения 1000, 1500 и 3000 об/мин. (синхронных) для сетей с напряжением 127 и 220 В. Эти двигатели должны заменить однофазные двигатели типа АОЛБ с пусковыми активными сопротивлениями. Разновидностью конденсаторного двигателя является двигатель с массивным ротором, выточенным из стали или чугуна и не имеющем пазов и обмоток. Эти двигатели имеют большой пусковой момент. Скорость вращения можно регулировать в широких пределах реостатом в цепи рабочей обмотки, причем на всех скоростях от холостого хода до полной нагрузки двигатель работает устойчиво. Двигатели с массивным ротором просты по устройству, надежны в работе и бесшумны. Такой двигатель можно получить из любого конденсаторного двигателя, заменив у него ротор. По своим рабочим характеристикам двигатели с массивным ротором могут заменить коллекторные двигатели постоянного или переменного тока. Вследствие больших потерь в роторе и магнитного рассеяния они имеют значительно более низкие к. п. д. и коэффициент мощности, поэтому по размерам и весу они больше коллекторных двигателей такой же мощности.

§42. Конструкция однофазного асинхронного двигателя.

На рис. 94 показано устройство однофазного двигателя АОЛБ с встроенным пусковым сопротивлением. Статор двигателя собран из штампованных листов 15 электротехнической стали, спрессован и залит в алюминиевую оболочку 13 с двойными стенками. Между стенками образуются каналы для воздуха, охлаждающего поверхность статора. На заточки статора надеты две крышки 2 и 17, отлитые из алюминиевого сплава. На переднюю крышку 17 надет штампованный колпак 18 с отверстиями в торце. Через эти отверстия при вращении ротора забирает воздух вентилятор 19, насаженный на конец вала ротора. Воздух прогоняется по каналам в крышках и корпусе статора.

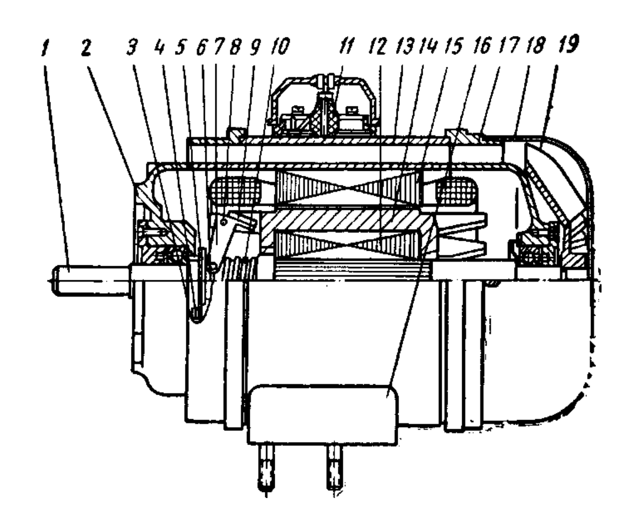


Рис. 94. Однофазный двигатель АОЛБ.

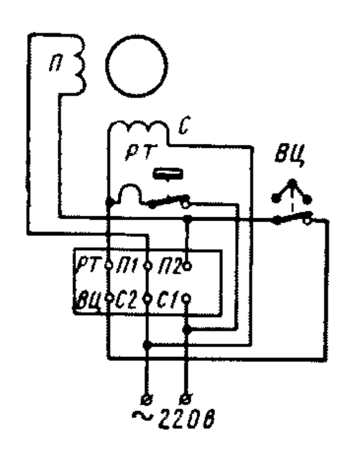


Рис. 95. Схема включения однофазного двигателя.

Вентилятор отлит из алюминиевого сплава и закреплен на валу винтом. В листах статора проштампованы двадцать четыре паза грушевидной формы. Из них шестнадцать пазов заняты проводами рабочей обмотки, а восемь пазов – проводами пусковой обмотки Выводные концы рабочей и пусковой обмоток выведены к четырем контактным винтам, расположенным в коробке зажимов 11 на боковой стенке корпуса. Сердечник ротора собран из листов 12 электротехнической стали и напрессован на рифленую поверхность средней части вала 1. В пазы ротора залита алюминиевая обмотка 14 с замыкающими кольцами и лопатками вентилятора. Назначение вентилятора заключается в том, чтобы отбрасывать нагретый воздух к охлаждаемым наружным стенкам корпуса. На роторе смонтирован центробежный выключатель пусковой обмотки. Он состоит из двух рычагов 7 с противовесами 9, сидящих на осях 8, которые запрессованы в четырех лопатках вентилятора. Рычаги нажимают штифтами 6 на пластмассовую втулку 5, свободно сидящую на валу. При разгоне ротора, когда скорость его вращения приближается к номинальной, противовесы под действием центробежной силы расходятся, поворачивая рычаги вокруг осей. При этом втулка 5 перемещается вправо, сжимая пружины 10, и освобождает пружинный контакт 4, замыкающий цепь пусковой обмотки. Этот контакт при неподвижном роторе замкнут торцом втулки с неподвижным контактом 3.

Подвижный и неподвижный контакты крепятся на изоляционной плате к задней крышке 2 двигателя. На ней укреплено тепловое реле, служащее для отключения двигателя от сети при его перегреве. Подставка 16 с четырьмя шпильками служит для крепления двигателя. Схема включения двигателя показана на рис 95. Напряжение питающей сети подводится к зажимам С1 и С2. От этих зажимов напряжение подводится к рабочей обмотке через контакты теплового реле РТ, состоящего из обмотки, биметаллической пластинки и контактов. При повышении нагрева двигателя сверх допустимого пластинка изгибается и размыкает контакты.

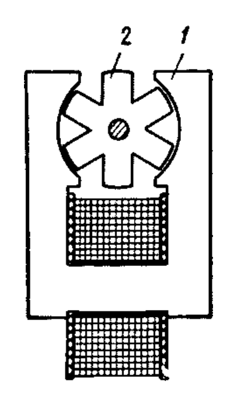
При коротком замыкании через обмотку теплового реле пойдет большой ток, пластинка мгновенно нагреется и разомкнет контакты. При этом будут обесточены рабочая *С* и пусковая *П* обмотки, так как обе они питаются через тепловое реле. Таким образом, тепловое реле защищает двигатель от перегрузки и коротких замыканий.

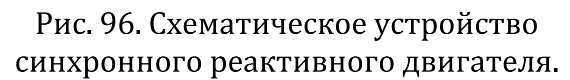
Пусковая обмотка питается от зажимов С1 и С2 через перемычку С2 – П1, контакты центробежного выключателя ВЦ, перемычку ВЦ – РТ, контакты теплового реле РТ. При пуске двигателя, когда ротор достигнет скорости вращения 70 – 80% номинальной, контакты центробежного выключателя разомкнутся и пусковая обмотка отключится от сети. При выключении двигателя, когда скорость ротора снизится, контакты центробежного выключателя снова замкнутся и пусковая обмотка будет подготовлена к следующему пуску.

§43. Синхронные однофазные двигатели.

В некоторых случаях требуются двигатели, скорость вращения которых должна быть строго постоянной. В качестве таких используют синхронные двигатели, у которых скорость вращения ротора всегда равна скорости вращения магнитного поля. Существует много типов синхронных двигателей однофазного тока. Рассмотрим два наиболее простых типа таких двигателей: реактивный и конденсаторный реактивный.

На рис. 96 показано схематическое устройство простейшего *синхронного реактивного двигателя.* Реактивным этот двигатель называется потому, что ротор вращается за счет реакций двух сил магнитного притяжения. Статор 1 и ротор 2 этого двигателя собраны из штампованных листов электротехнической стали. На статоре намотана катушка, питаемая от сети однофазного переменного тока, создающая пульсирующее магнитное поле.




Рис. 96. Схематическое устройство синхронного реактивного двигателя.

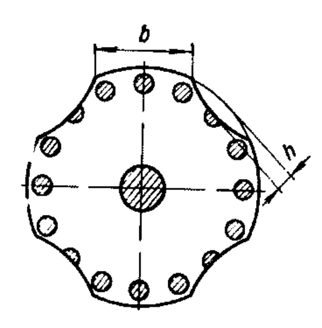


Рис. 97. Ротор синхронного конденсаторного реактивного двигателя.

При пульсирующем поле двигатель не имеет пускового вращающего момента и его приходится раскручивать от руки, магнитные силы, действующие на зубцы ротора, все время стремятся поставить их против полюсов статора, так как в этом положении сопротивление магнитному потоку будет наименьшим. Однако ротор по инерции проходит это положение за время, когда пульсирующее поле уменьшается. При следующем увеличении магнитного поля магнитные силы будут действовать уже на другой зубец ротора, и ротор продолжает вращаться. Для устойчивости хода ротор реактивного двигателя должен обладать большой инерцией. Реактивные двигатели работают устойчиво только при небольшой скорости вращения (100 – 200 об/мин.). Мощность их обычно не превосходит 10 – 15 Вт. Скорость вращения ротора определяется частотой питающей сети f и числом зубцов ротора z. Так как за один полупериод изменения магнитного потока ротор поворачивается на $1 / z$ оборота, то за 1 мин, содержащую $60 \times 2 \times f$ полупериодов, он повернется на $60 \times 2 \times f / z$ оборотов. При частоте переменного тока 50 Гц скорость вращения ротора:

$$n = \frac{6000}{z} = \text{об/мин.} \quad (10)$$

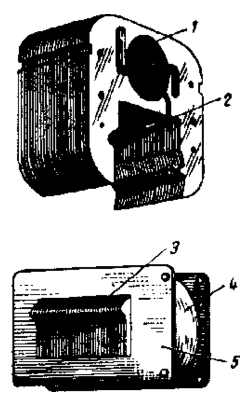
Чтобы увеличить вращающий момент, увеличивают число зубцов на статоре. Наибольшего эффекта можно добиться, сделав на статоре столько же зубцов, сколько на роторе. При этом магнитные притяжения действуют одновременно не на пару зубцов, а на все зубцы ротора, и вращающий момент значительно возрастет. В таких двигателях обмотка статора состоит из маленьких катушек, которые намотаны на обод статора в промежутках между зубцами. Статор *синхронного конденсаторного реактивного* двигателя ничем не отличается от статора асинхронного конденсаторного двигателя. Ротор двигателя можно сделать из ротора асинхронного двигателя, профрезеровав в нем пазы по числу полюсов (рис. 97). При этом срезают частично стержни короткозамкнутой обмотки. Короткозамкнутая обмотка играет роль пусковой обмотки. Ротор начинает вращаться, как ротор асинхронного двигателя, затем втягивается в синхронизм с магнитным полем и в дальнейшем вращается с синхронной скоростью. Наибольший реактивный момент получается, когда отношение полюсной дуги b к полюсному делению составляет 0,6, а глубина впадин h в 9 – 10 раз больше воздушного зазора между полюсными выступами и статором. Эти двигатели применяются в схемах синхронной связи, в установках звукового кино, звукозаписи и телевидения.

Контрольные вопросы.

1. Почему однофазный двигатель не имеет вращающегося магнитного поля?
2. Как устроен двигатель с короткозамкнутым витком на полюсе?
3. Каким условиям должна отвечать пусковая обмотка?
4. В чем заключается действие пусковых элементов?
5. Какие достоинства имеют конденсаторные двигатели?
6. Расскажите об устройстве однофазного двигателя.
7. Объясните схему включения однофазного двигателя.
8. По какому принципу работают синхронные однофазные двигатели?

Глава X
Обмотки однофазных двигателей.
§44. Обмотки двигателей с короткозамкнутым витком на полюсе.

В § 38 было сказано, что катушку двигателя с короткозамкнутым витком на полюсе можно наматывать непосредственно на сердечник. Однако при массовом производстве это неудобно. При вращении сердечника вокруг оси катушки, не совпадающей с центром тяжести, возникают вибрации, препятствующие работе на больших скоростях. Выступающие полюсные наконечники при вращении могут ударить по руке намотчицы. Разработана другая конструкция сердечника (рис. 98). Полюсные наконечники соединены между собой магнитными шунтами 1, которые выштампованы из одного листа вместе с сердечником. Стержень 3, на котором сидит катушка – отъемный и соединяется с полюсами по угловым контурам 2. Это позволяет намотать катушку 4 отдельно от сердечника, затем вставить в нее стержень и забить его в углубление сердечника. Такие катушки наматывают на быстроходных станках на изоляционный каркас 5 из пластмассы. Станок имеет автоматическую раскладку провода по ширине шаблона и оборудован приспособлением для вкладывания бумажных полосок после намотки нескольких рядов провода. Это снижает возможность междувитковых замыканий.



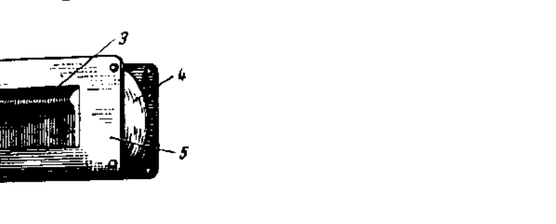


Рис. 98. Статор двигателя с короткозамкнутым витком.

Рис. 99. Сердечник двигателя настольного вентилятора.

В некоторых конструкциях требуется круглая форма сердечника двигателя, который вставляют в цилиндрическую оболочку. На рис. 99 показан сердечник двигателя настольного вентилятора. Короткозамкнутые витки 3 выполнены из медной шины и вставлены в пазы полюсов. Магнитные шунты 1 забиты в углубления в полюсных башмаках. Обмотка статора состоит из двух катушек 2. Их наматывают на цилиндрические шаблоны и оплетают лентой из лакоткани. Прямоугольную форму катушкам придают при надевании на полюса. Катушки удерживаются отогнутыми крайними листами полюса.

§45. Обмотки двигателей с пусковыми элементами.

Как было сказано, у однофазных двигателей с пусковыми обмотками рабочая обмотка занимает ⅓ пазов статора, а пусковая – ⅔ пазов. Выводы рабочей обмотки обозначают С1 и С2, а выводы пусковой обмотки – П1 и П2. На рис. 100 показана схема однослойной равнокатушечной обмотки вразвалку однофазного двухполюсного двигателя с пусковой обмоткой. Рабочая обмотка занимает пазы 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 21, 22, 23 и 24 – шестнадцать пазов, а пусковая – пазы 5, 6, 7, 8, 17, 18, 19 и 20 – восемь пазов. Диаметральный шаг обмотки однофазного двигателя определяется по формуле:

$$yz = \frac{z}{2p}$$

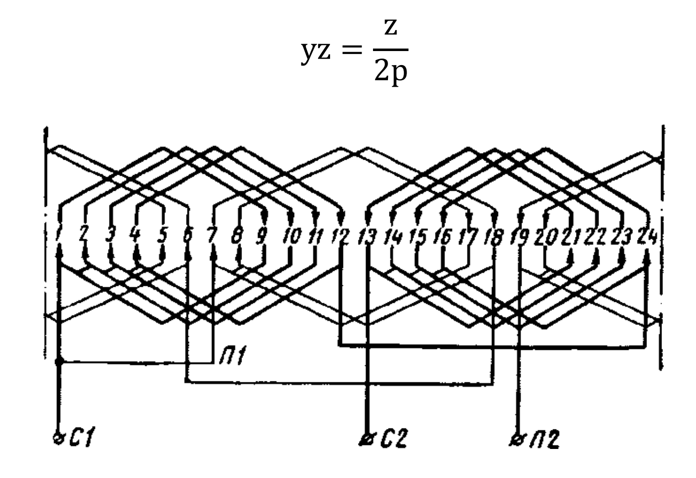


Рис. 100. Схема однослойной шаблонной обмотки вразвалку.

Ввиду того что обмотки однофазных двигателей создают сильную третью гармонику, которая затрудняет пуск двигателя, обычно берут укороченный шаг, равный ⅔ диаметрального. Рабочая и пусковая обмотки могут иметь разные шаги. Для обмотки, схема которой изображена на рис. 100, диаметральный шаг был бы $yz = 24 / 2 = = 12$, а рабочая обмотка имеет шаг $y_с = 8$ (1 – 9), т. е. ⅔ диаметрального. У пусковой обмотки шаг $y_п = 10$ (7 – 17).

Начало пусковой обмотки $П1$ спаяно с началом рабочей обмотки $С1$ внутри статора. Второй вывод пусковой обмотки $П2$ выведен наружу для возможности отключения ее после пуска двигателя. При подсчете числа пазов на полюс в однофазных обмотках берут число пазов не всего статора, а то, которое занимает данная обмотка. Обозначим число пазов, занимаемых рабочей обмоткой – zс, а число пазов пусковой обмотки – zп. Тогда число пазов на полюс рабочей обмотки:

$$qc = \frac{z\text{с}}{2p} \quad (11)$$

а число пазов на полюс пусковой обмотки:

$$q\text{п} = \frac{z\text{п}}{2p} \quad (12)$$

На схеме, изображенной на рис. 100, qс= 8, а qп = 4. Но, ввиду того что обмотка выполнена вразвалку, рабочая обмотка состоит из катушечных полугрупп по четыре катушки в каждой, а пусковая обмотка из катушечных групп по две катушки. Как и во всякой обмотке вразвалку, одноименные выводы полугрупп соединены между собой (конец с концом).

В однофазных обмотках вразвалку шаг выбирают таким, чтобы катушечная полугруппа рабочей обмотки охватывала qп сторон катушек пусковой обмотки, а катушечная полугруппа пусковой обмотки охватывала qс сторон катушек рабочей обмотки. В схеме и qп четные. Поэтому обе обмотки расположены симметрично. Встречаются также двигатели с нечетным числом пазов на полюс. На рис. 101 показана схема однослойной шаблонной обмотки со следующими данными: z = 18, $2p$ = 2, yс = 6, qп= 3. Так как катушечная группа пусковой обмотки выражается нечетным числом, одна катушечная полугруппа состоит из двух катушек, а другая – из одной катушки. По этой же причине катушечные полугруппы пусковой обмотки имеют разные шаги по пазам (y_1п = 7, $y2$п = 8). Угол между соседними пазами 360 / 24 = 15 электрических градусов. Сдвиг между рабочей и пусковой обмотками (пазы 1 и 6) составляет 5 × 15 = 75 электрических градусов. В производстве однофазных двигателей обычно применяют торцовые схемы обмоток. На рис. 102 изображена такая схема однофазного двухполюсного двигателя. Как рабочая, так и пусковая обмотки имеют по две катушки. Сторона катушки рабочей обмотки занимает два паза, а сторона катушки пусковой обмотки – один паз. Между катушками рабочей и пусковой обмотки угол 90°. Это видно на схеме, где ось рабочей обмотки, проходящая через середины катушек, является горизонтальным диаметром, а ось пусковой обмотки – вертикальным диаметром. Порядок укладки катушек в пазы следующий. Сначала вкладывают катушку в 2 и 5 пазы, затем охватывающую ее катушку – в 1 и 6 пазы. Таким образом, эта обмотка является концентрической. Конец первой катушки соединяют с началом второй. Начало первой катушки из 2 паза присоединяют к зажиму С1, а конец катушки из 6 паза соединяют с выводом из 12 паза.

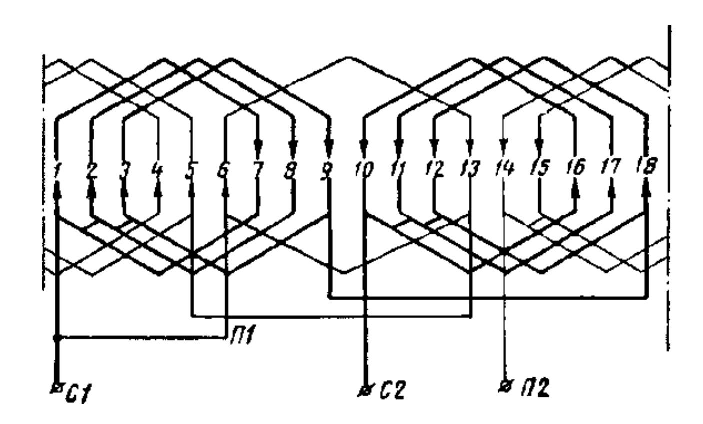


Рис. 101. Схема однослойной шаблонной обмотки вразвалку.

Аналогично вкладывают в пазы вторые катушки рабочей обмотки: сначала в 8 и 11 пазы, а затем 7 и 12 пазы и соединяют катушечные группы между собой, чтобы они имели противоположную полярность. Это значит, что если одну катушечную группу ток обтекает по часовой стрелке, то противоположную группу этой обмотки ток должен обтекать против часовой стрелки. Вывод из 8 паза соединяют с зажимом С2 на дощечке. После этого вкладывают катушки пусковой обмотки. Первую катушку в 10 и 3 пазы, а вторую – в 4 и 9 пазы. Концы катушек присоединяют к зажимам П1 и П2. При соединении катушек пусковой обмотки также необходимо следить за тем, чтобы полярность их была противоположной. Выводы С1 и П1 присоединяют к одному из проводов сети переменного тока, а выводы С2 и П2 – к другому.

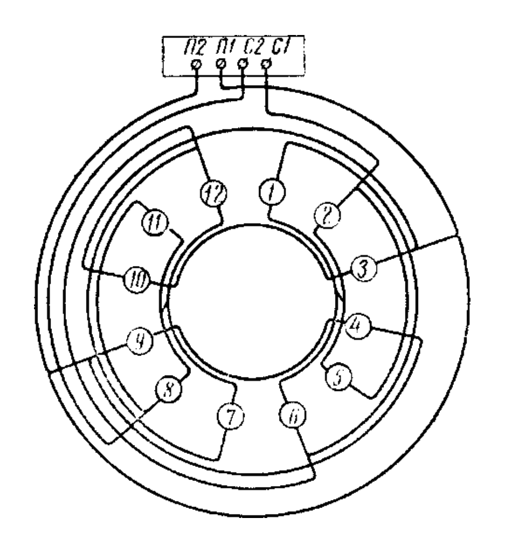


Рис. 102. Торцовая схема концентрической обмотки.

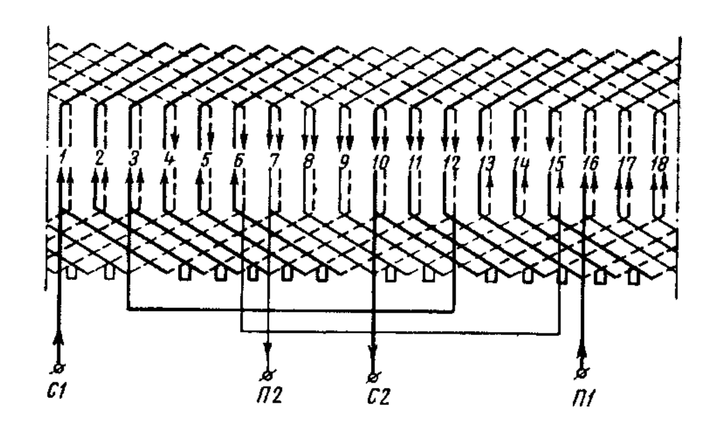


Рис. 103. Схема двухслойной обмотки.

Если поменять местами выводы пусковой или рабочей обмоток, то ротор двигателя будет вращаться в другую сторону. В однослойных обмотках не всегда можно выполнить укорочение шага на ⅓ полюсного деления для устранения действия третьей гармоники. Поэтому в однофазных двигателях все чаще стали применять двухслойные обмотки, хотя это и затрудняет укладку катушек в пазы. На рис. 103 показана схема двухслойной обмотки однофазного двигателя с пусковым сопротивлением. Как и обмотки трехфазных двигателей, она состоит из симметрично расположенных катушек с одинаковым шагом, размещенных в пазах в два слоя. Обмотка имеет следующие технические данные: число пазов $z = 18$, число полюсов $2p = 2$. Шаг по пазам рабочей и пусковой обмотки взят равным ⅔ полюсного деления $y_с = y_п = 6$ (1 – 7). Число пазов на полюс рабочей обмотки $q_с = 12 / 2 = 6$, а пусковой обмотки $q_п = 6 / 2 = 3$. В соответствии с укорочением шага на три паза на статоре имеются две зоны, в которых направление токов встречное. Эти зоны занимают пазы 4, 5, 6 и 13, 14, 15. Как во всякой двухслойной обмотке, соединение катушек в рабочей и пусковой обмотках выполнено одноименными выводами. Каждая катушечная группа рабочей обмотки состоит из шести катушек, а пусковой обмотки – из трех катушек. Следовательно, рабочая обмотка занимает ⅔ пазов статора, а пусковая ⅓, как и в однослойных обмотках.

В соответствии с укорочением шага на три паза на статоре имеются две зоны, в которых направление токов встречное. Эти зоны занимают пазы 4, 5, 6 и 13, 14, 15. Как во всякой двухслойной обмотке, соединение катушек в рабочей и пусковой обмотках выполнено одноименными выводами. Каждая катушечная группа рабочей обмотки состоит из шести катушек, а пусковой обмотки – из трех катушек. Следовательно, рабочая обмотка занимает ⅔ пазов статора, а пусковая ⅓, как и в однослойных обмотках.

§46. Обмотки с встроенным сопротивлением.

Для увеличения активного сопротивления пусковых обмоток без увеличения их индуктивного сопротивления применяют бифилярную намотку катушек (схема такой катушки показана на рис. 104). В этой катушке шесть витков. Все они соединены последовательно и участвуют в создании активного сопротивления катушки. Но последние два витка намотаны в обратном направлении. При прохождении по катушке тока намагничивающие силы последних четырех витков взаимно уничтожаются и в создании магнитного поля участвуют только два первых витка.

Таким образом, число эффективных проводов такой катушки можно определить по формуле:

$$w\text{эфф} = w\text{полн} - 2w\text{биф} \quad (13)$$

В двигателях с встроенным сопротивлением широко применяют однослойные концентрические обмотки с бифилярными катушками. Схема обмотки такого двигателя, изображенная на рис. 105, имеет следующие данные: z = 24, 2p = 4, zс = 16, zп = 8. По формулам (11) и (12) определим qс и qп , qс = 4; qп = 2 Катушка рабочей обмотки охватывает qп катушек, а катушка пусковой обмотки qс катушек. Угол между пазами 2 × 360 / 24 = 30 электрических градусов. Сдвиг между рабочей и пусковой обмотками 3 × 30 = 90 электрических градусов (1 и 4 пазы). Каждая из четырех катушек пусковой обмотки состоит фактически из двух катушек.

Для получения бифилярной катушки необходимо уложить в одни и те же пазы две катушки – одну в направлении намотки, а другую перевернуть на 180° и соединить их последовательно. Полярность катушки определяется по направлению тока в части катушки с большим числом витков. На схеме из пазов 9, 10, 21 и 22 выходят петли, получившиеся при переворачивании катушек на 180°. На рис. 106 показана торцевая схема обмотки этого же двигателя. На ней наглядно показаны бифилярные витки катушки пусковой обмотки.

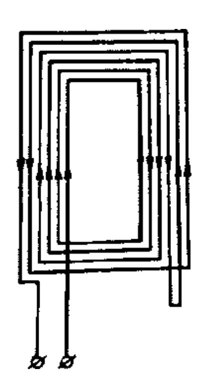


Рис. 104. Схема катушки с бифилярными витками.

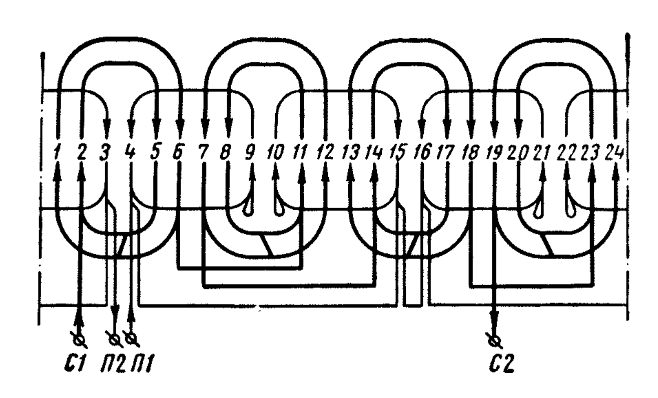


Рис. 105. Схема концентрической обмотки с встроенным сопротивлением.

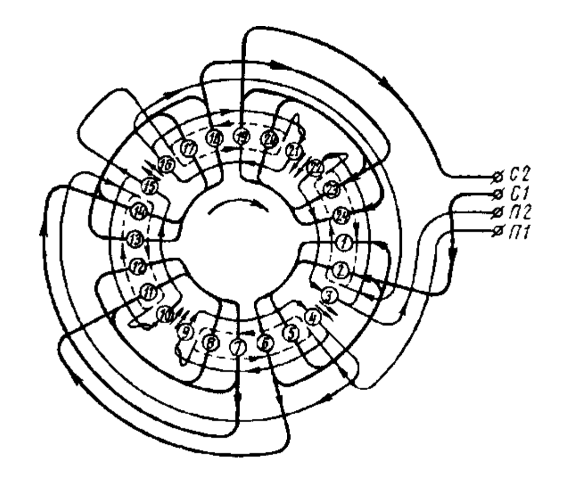


Рис. 106. Торцовая схема обмотки с встроенным сопротивлением.

§47. Обмотки конденсаторных двигателей.

Как было сказано в конденсаторных двигателях обе обмотки остаются включенными на все время работы двигателя и каждая них занимает половину пазов статора. Шаг обмотки (диаметральный) определяется по общей формуле: $y\text{z} = z / 2p$.
Для устранения действия третьей гармоники берут укорочение шага на ⅓ полюсного деления. Число пазов, занимаемое каждой обмоткой $z\text{с} = z\text{в} = z / 2$. Число пазов на полюс каждой обмотки $q\text{с} = q\text{в} = z / 2 \times 2p = z / 4p$. В однослойных обмотках шаги рабочей и вспомогательной обмоток могут быть разными. На рис. 107 показана торцовая схема концентрической обмотки двухполюсного однофазного конденсаторного двигателя. Статор имеет 16 пазов: 8 пазов занимают катушки рабочей обмотки и 8 пазов – катушки вспомогательной обмотки. Как видно на схеме, рабочая и вспомогательная обмотки расположены под углом 90°. Диаметральный шаг такой обмотки был бы $y\text{z} = 16 / 2 = 8$. Средний шаг концентрической обмотки 7 + 5 / 2 = 6. Укорочение на ⅓ полюсного деления в этой обмотке выполнить нельзя, так как при этом шаг выразился бы дробным числом (8 × ⅔ = 5⅓). Число пазов на полюс в обеих обмотках: $q\text{с} = q\text{в} = 16 / 2 \times 2 = 4$. Соединение катушечных групп выполнено одноименными выводами, так как обмотка сделана вразвалку. При таком соединении групп диаметрально расположенные катушки имеют противоположную полярность. В практике встречаются случаи, когда число катушек в катушечной полугруппе выражается дробным числом.
На рис. 108 показана схема обмотки конденсаторного двигателя типа ДВА–У3 для магнитофонов. Обмотка имеет следующие данные: $z = 24$, $2p = 4$.

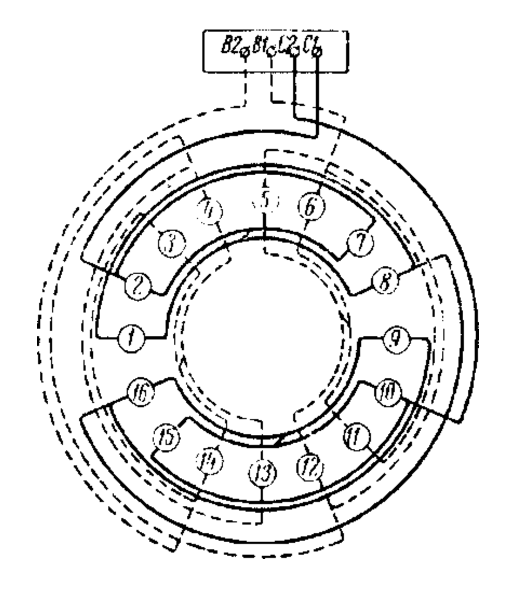


Рис. 107. Торцовая схема обмотки конденсаторного двигателя.

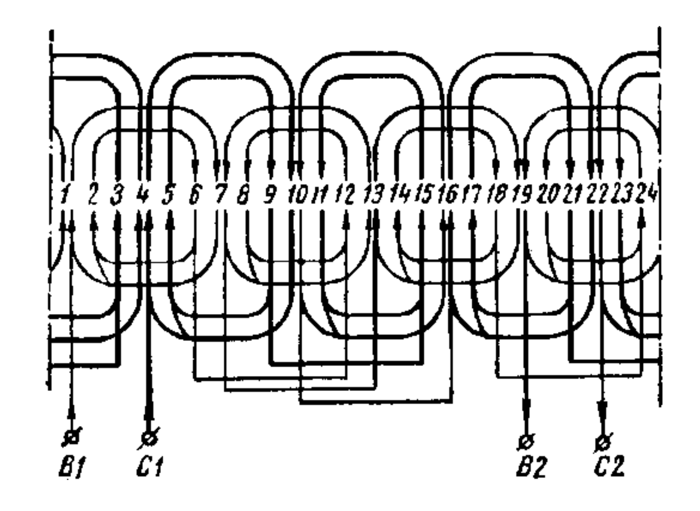


Рис. 108. Схема концентрической обмотки конденсаторного двигателя.

Число пазов, занимаемое рабочей и вспомогательной обмотками: $z\text{с} = z\text{в} = 24 / 2 = 12$. Число пазов на полюс в каждой обмотке: $q\text{с} = q\text{в} = 24 / 4 \times 2 = 3$. Обмотка концентрическая вразвалку, поэтому число катушек в катушечной полугруппе: $^3/_2 = 1\frac{1}{2}$.
Как видно на схеме, каждая обмотка состоит из четырех катушек, стороны которых лежат в двух пазах. Но охватывающие катушки с шагом 6 (1 – 7) намотаны с половинным числом витков и стороны их лежат в пазах 4, 10, 16 и 22 у рабочей обмотки и в пазах 1, 7, 13 и 19 у вспомогательной обмотки. В этих пазах обмотка выполнена как двухслойная, в остальных пазах – как однослойная. Катушки с половинным числом витков называются "расчесанными". Соединения между катушечными полугруппами выполнены одноименными выводами, как у всякой обмотки вразвалку. Диаметральный шаг для этой обмотки был бы $y = 24 / 4 = 6$. Полугруппы концентрической обмотки имеют шаги $y_1 = 4$ и $y_2 = 6$. Средний шаг обмотки (4 + 6) / 2 = 5.

Таким образом, укороченный шаг составляет $^5/_6$ диаметрального шага. Угол между пазами = 30 электрических градусов. Сдвиг между обмотками 3 × 30 = 90 электрических градусов. В последнее время конденсаторные двигатели все чаще стали выполняться с двухслойными обмотками, которые позволяют выбрать оптимальное укорочение шага и не требуют таких усложнений, как расчесанные катушки.

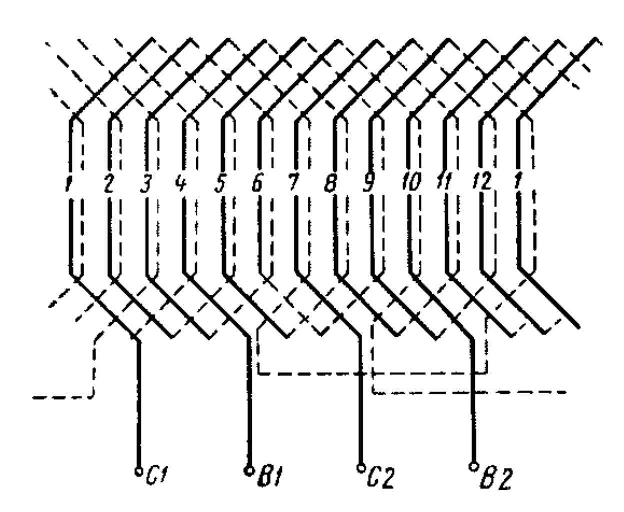


Рис. 109. Схема двухслойной обмотки конденсаторного двигателя.

На рис. 109 показана схема двухслойной обмотки конденсаторного двигателя со следующими данными: z = 12, 2p = 2. Катушки рабочей и вспомогательной обмоток симметрично распределены по окружности статора и занимают по шесть пазов. Число пазов на полюс каждой обмотки qс = qв = 12 / 4 = 3, поэтому каждая катушечная группа состоит из трех катушек. Диаметральный шаг этой обмотки был бы y = 12 / 2 = 6. Как видно на схеме, катушки уложены на статоре с шагом 4 (1 – 5), т. е. укороченный шаг составляет ⅔ диаметрального, благодаря чему устраняется вредное действие третьей гармоники, и двигатель хорошо запускается. Угол между пазами 360 / 12 = 30 электрических градусов. Сдвиг между рабочей и вспомогательной обмотками, начала которых выходят из 1 и 4 пазов, составляет 3 × 30 = 90 электрических градусов. Таким образом, схема удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к обмоткам однофазных двигателей.

§48. Составление схем обмоток однофазных двигателей.

При составлении схем обмоток необходимо учитывать порядок укладки катушек в пазы. Применяют два способа укладки: по часовой стрелке и против часовой стрелки. В зависимости от этого меняется порядок нумерации пазов. При укладке по часовой стрелке пазы нумеруют справа налево, а при укладке против часовой стрелки – слева направо.

Пример 1. Составить схему концентрической обмотки вразвалку однофазного двигателя с встроенным сопротивлением со следующими данными z = 24, 2p = 4. Укладка катушек по часовой стрелке (рис. 110). Рассчитаем число пазов, занимаемых каждой обмоткой. Рабочая обмотка занимает ⅔ ×24= 16 пазов, а пусковая ⅓ × 24 = 8 пазов. Для определения шагов обмотки надо знать числа пазов на полюс. У рабочей обмотки qс = 16 / 4 = 4, у пусковой обмотки qп = 8 / 4 = 2. Следовательно, при обмотке вразвалку сторона катушечной полугруппы рабочей обмотки занимает два паза, а пусковой обмотки – один паз.

На листе писчей бумаги в клетку проведем 24 вертикальные черточки и пронумеруем их справа налево. Если согнуть лист бумаги в цилиндр так, чтобы изображение схемы было внутри его, то порядковые номера пазов будут читаться по часовой стрелке.

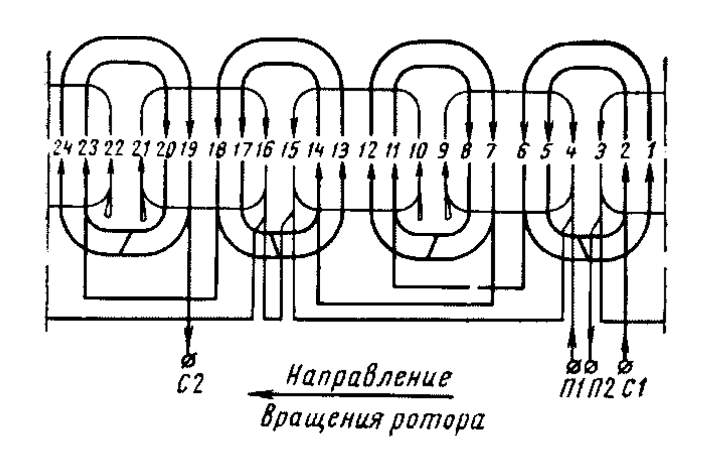


Рис. 110. Схема концентрической обмотки
при вращении ротора против часовой стрелки.

Сначала изобразим катушки рабочей обмотки. Катушечная полугруппа должна охватывать qп пазов, поэтому 3 и 4 пазы оставляем свободными и первую катушечную полугруппу рабочей обмотки уложим в 1, 2, 5 и 6 пазы. Вторая катушечная полугруппа будет лежать в 7, 8, 11 и 12 пазах. Третья полугруппа – в 13, 14, 17 и 18 пазах, четвертая – в 19, 20, 23 и 24 пазах.

Начало рабочей обмотки возьмем из 2 паза. Если ток направлен в обмотку от зажима С1, то он будет обтекать первую катушечную полугруппу против часовой стрелки. Чтобы во второй полугруппе была другая полярность, ток должен обтекать ее против часовой стрелки. В третьей полугруппе направление тока должно быть таким же, как в первой, а в четвертой таким же, как во второй. Соответственно надо произвести соединения между катушечными полугруппами. Конец рабочей обмотки выйдет из 19 паза. Обмотки однофазных двигателей часто выполняют без паек схемы. Для этого всю рабочую и всю пусковую обмотку мотают на шаблон непрерывным проводом. Между отдельными катушечными группами оставляют перемычки достаточной длины, чтобы группы можно было уложить в пазы статора. Намотку отдельных групп на станке производят в одном направлении, а для получения различной полярности четные катушечные группы перед укладкой их в пазы перевертывают на 180°. На схеме это видно по направлению соединительных проводов между катушками полугруппы: у четных полугрупп они наклонены вправо, а у нечетных – влево. Применение обмотки без паек схемы упрощает ее выполнение и устраняет возможность перепутывания выводных концов.

Теперь перейдем к пусковой обмотке. Она должна быть уложена в оставшиеся свободными 3, 4, 9, 10, 15, 16, 21 и 22 пазы. Для обмотки с встроенным сопротивлением каждая катушка состоит из двух секций – одна с большим количеством витков, а другая – с меньшим. Перед началом укладки в пазы в каждой катушке одну из секций (обычно вторую по ходу их намотки на шаблоне), перевертывают на 180° и получают таким образом бифилярные витки. На схеме видны петли, выходящие из 9, 10, 21 и 22 пазов, образовавшиеся от перевертывания секций. Пусковая обмотка должна отстоять от рабочей обмотки на 90 электрических градусов. В этом двигателе, угол между пазами составляет 2 × 360 / 24 = 30 электрических градусов. Поэтому начало пусковой обмотки надо брать из 4 паза. Конец пусковой обмотки выйдет из 3 паза.

В однофазных двигателях часто начало рабочей и пусковой обмоток соединяют внутри статора и на дощечку зажимов выпускают только три выводных конца обмотки. Такой двигатель уже нельзя реверсировать в процессе эксплуатации, поэтому при выпуске с завода направление вращения должно соответствовать стрелке, изображенной на корпусе двигателя. Направление вращения ротора можно определить по схеме обмотки статора следующим образом. Если рассматривать схему начиная от первой катушки рабочей обмотки, то ротор будет вращаться в сторону той катушки пусковой обмотки, в которой ток имеет обратное направление.

На схеме, показанной на рис. 110, ротор будет вращаться против часовой стрелки, т. е. от катушки рабочей обмотки, лежащей в пазах 1 и 2, в сторону катушки пусковой обмотки, лежащей в пазу 22. В этой обмотке в катушках пусковой обмотки были перевернуты секции с большим числом витков. Выполним эту обмотку, перевертывая на 180° секции с меньшим числом витков. При этом токи в катушках пусковой обмотки изменят направление (рис. 111). Теперь ротор будет вращаться от 2 к 3 пазу, т. е. по часовой стрелке.
Не следует смешивать два понятия: укладка катушек обмотки по или против часовой стрелки и направление вращения ротора по или против часовой стрелки. Между ними нет никакой зависимости.

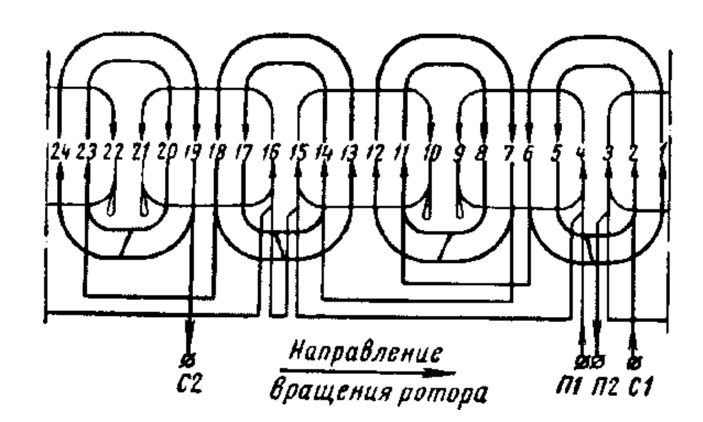


Рис. 111. Схема концентрической обмотки при вращении ротора по часовой стрелке.

В двигателях с пусковыми обмотками обычно сначала укладывают в пазу катушки рабочей обмотки, а затем катушки пусковой обмотки. Это объясняется тем, что чаще выходят из строя пусковые обмотки. В них допускается высокая плотность тока и запаздывание их отключения обычно ведет к перегоранию проводов.
Пример 2. Составить схему двухслойной обмотки конденсаторного двигателя со следующими данными: $z = 24$, $2p = 2$. Каждая обмотка занимает по 12 пазов. Число пазов на полюс в каждой обмотке $q_{с} = q_{п} = 24 / 4 = 6$. Диаметральный шаг этой обмотки $y_{z} = 24 \backslash 2 = 12$. Возьмем укороченный шаг равный ⅔ диаметрального, $y_{z} = ⅔ \times 12 = 9$, т. е. (1 – 10). Проведем на писчей бумаге в клетку 24 двойных линии (одну сплошную, а другую пунктирную) и пронумеруем их слева направо (рис. 112). Это будет соответствовать укладке катушек против часовой стрелки. Каждая обмотка состоит из двух катушечных групп по шесть катушек. Для осуществления обмотки без пайки схемы намотаем каждую обмотку непрерывным проводом.

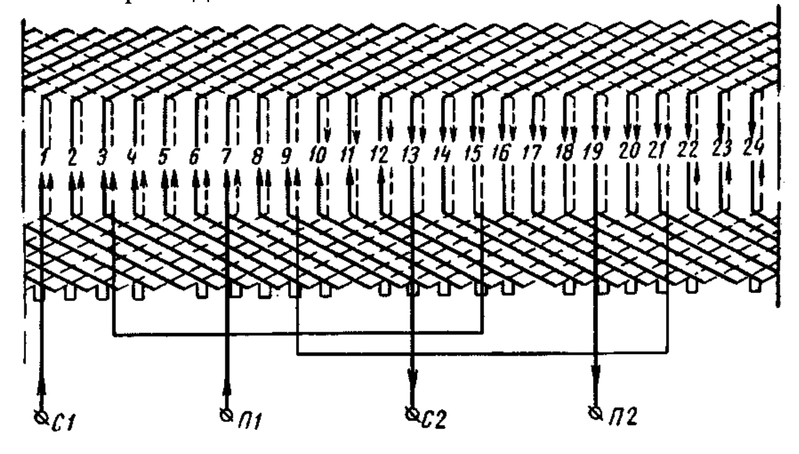


Рис. 112. Двухслойная схема конденсаторного двигателя.

В обмотках крупных машин верхние стороны катушек оставляют внутри статора не вложенными в пазы до тех пор, пока не будут заполнены нижние части этих пазов.

В малых двигателях внутри статора нет достаточного места для размещения верхних сторон катушек. Поэтому укладку катушек производят в такой последовательности. Сначала вкладывают в нижние части пазов первую катушечную группу рабочей обмотки левой стороной в 1, 2, 3, 4, 5 и 6 пазы, а правой стороной в пазы 10, 11, 12, 13, 14 и 15. Затем укладывают в пазы первую катушку вспомогательной обмотки. Начало ее должно отстоять от начала рабочей обмотки на 90 электрических градусов или на шесть пазовых делений, так как угол между пазами равен 360 / 24 = 15 электрических градусов. Поэтому начало вспомогательной обмотки должно выходить, из 7 паза.
Первую катушечную группу вспомогательной обмотки левой стороной вкладывают в 7, 8, 9, 10, 11 и 12 пазы, а правой стороной в 16, 17, 18, 19, 20 и 21 пазы. После этого 10, 11 и 12 пазы будут заполнены целиком, а другие пазы только наполовину, пазы 13, 14 и 15 останутся пока пустыми.
Теперь надо вложить в пазы катушки обратной полярности. Для этого перевернем вторую катушечную группу рабочей обмотки на 180° и вложим ее левой стороной в 13, 14, 15, 16, 17 и 18 пазы, а правой стороной в 22, 23, 24, 1, 2 и 3 пазы. Вывод из 13 паза является концом рабочей обмотки. Затем перевернем вторую катушечную группу вспомогательной обмотки на 180° и вложим ее левой стороной в 19, 20, 21, 22, 23 и 24 пазы, а правой стороной в 4, 5, 6, 7, 8 и 9 пазы. Вывод из 19 паза будет являться концом вспомогательной обмотки. Теперь все пазы заполнены целиком.
Для проверки схемы расставим стрелки, указывающие направление токов, приняв, что ток направлен в обмотку от зажимов С1 и П1. Обмотка разделится на две зоны с противоположным направлением токов, так и должно быть в двухполюсном статоре. В 10, 11 и 12 пазах, а также в 22, 23 и 24 пазах направления токов в проводниках встречные. Это объясняется укорочением шага обмотки на три паза.

Контрольные вопросы.
1. Какие существуют разновидности обмоток двигателей с короткозамкнутым витком на полюсе?
2. Как распределяются по пазам рабочая и пусковая обмотки?
3. Как рассчитать число пазов на полюс?
4. В каком порядке укладывают рабочую и пусковую обмотки?
5. Какие достоинства имеют двухслойные обмотки?
6. Для чего в пусковых обмотках существуют бифилярные витки?
7. Объясните схему обмоток конденсаторного двигателя.
8. В каком порядке составляют схемы обмоток однофазных двигателей?
9. Каково устройство обмотки без пайки соединений?
10. От чего зависит направление вращения однофазного двигателя?

Глава XI
Стержневые обмотки ротора.
§49. Элементы стержневой обмотки.

В асинхронных двигателях большой мощности с фазными роторами, через обмотки которых протекает большой ток, применяют стержневые обмотки ротора. Их изготовляют из стержней, которые согнуты из голых медных шин, изолированных при помощи обертывания изоляционными материалами. Для стержневых обмоток используют шины прямоугольного сечения или со скругленной гранью.
Чаще всего стержневые обмотки выполняют двухслойными с двумя стержнями в пазу (двухстержневые). Однако встречаются стержневые обмотки и с четырьмя стержнями в пазу. Такие обмотки можно рассматривать как двухстержневые, но с удвоенным числом пазов.
Стержневые обмотки могут быть волнового и петлевого типа. Наибольшее распространение получили обмотки волнового типа. Их преимущество заключается в том, что они имеют меньшее число соединений между катушечными группами.

Стержневые обмотки ротора применяют при закрытых или полузакрытых пазах ротора. Поэтому стержни вставляют в пазы с торца ротора. Обмотка состоит из стержней верхнего и нижнего слоя. При прямоугольном сечении стержней они отличаются только длиной лобовых частей, которая у стержней верхнего слоя несколько больше. При скруглении грани стержни верхнего и нижнего слоев отличаются различным расположением скругленной стороны. Кроме стержней, в стержневой обмотке существуют еще перемычки, или соединительные дуги. В каждой фазе имеется по одной такой перемычке, а всего их на роторе три.

На рис. 113 показана схема волновой обмотки ротора, имеющего 24 паза и четыре полюса. Проследим построение схемы, начиная с 1 паза (начало первой фазы). На схеме стержни, лежащие в верхнем слое, изображены сплошными линиями, а стержни, лежащие в нижнем слое, – штриховыми линиями. Стержни верхнего и нижнего слоев соединяют хомутиками и пропаивают. Каждый хомутик соединяет стержень верхнего слоя со стержнем нижнего слоя. Для построения схемы надо знать шаг обмотки, который, как и для других обмоток, равен числу пазов, разделенному на число полюсов. Как было сказано в § 29, статорные обмотки почти всегда выполняют с укороченным шагом. В обмотках петлевого типа укорочение шага, кроме улучшения электрических характеристик машины, дает еще некоторую экономию медного провода.

В обмотках волнового типа укорочение шага не применяют, так как укорочение шага с одной стороны ротора влечет за собой удлинение шага с противоположной его стороны. Поэтому стержневые обмотки ротора выполняют с диаметральным шагом, за исключением одного шага при каждом обходе ротора. Для данного ротора шаг обмотки по пазам $y_z = 24 / 4 = 6$. Следовательно, верхний стержень 1 паза надо соединить с нижним стержнем 7 паза. Чтобы узнать следующее соединение, надо к номеру 7 паза прибавить шаг обмотки 6.

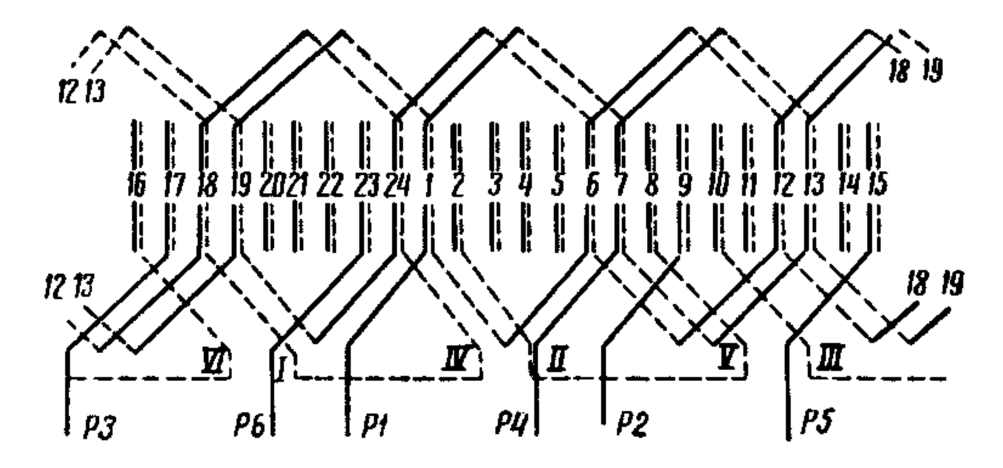


Рис. 113. Схема волновой обмотки ротора.

На схеме видно, что нижний стержень 7 паза соединен с верхним стержнем 13 паза. Следующее соединение будет между верхним стержнем 13 паза и нижним стержнем 19 паза. Если к номеру 19 паза прибавить шаг обмотки, то получим номер 1 паза, т. е. нижний стержень 19 паза надо будет соединить с верхним стержнем 1 паза, и таким образом обмотка замкнется.

Чтобы избежать этого, при подходе к пазу, с которого началась обмотка, укорачивают или удлиняют ее шаг на один паз. Такие обмотки называют обмотками с укороченными или удлиненными переходами. На рис. 113 показана схема обмотки с укороченными переходами, поэтому нижний стержень 19 паза соединен с верхним стержнем 24 паза (шаг 1 – 6). Второй обход ротора идет рядом с первым. Верхний стержень 24 паза соединен с нижним стержнем 6 паза, который соединяется с верхним стержнем 12 паза, а он – с нижним стержнем 18 паза.

У этой обмотки число пазов на полюс и фазу: $q = 24 / 4 \times 3 = 2$. Поэтому надо было сделать два обхода ротора. На схеме видно, что на роторе образовались четыре полюсных деления в соответствии с числом полюсов. Но произведенные соединения образовали волны, которые являются как бы полукатушками. Для создания четырехполюсной обмотки не хватает соединений с противоположной стороны ротора.

Такие соединения получатся, если мы будет делать обходы ротора, но в обратном направлении. Для этого надо соединить нижний стержень 18 паза с нижним стержнем, отстоящим от него на один шаг, т. е. со стержнем 24 паза, что сделано на схеме в виде перемычки, обозначенной I – IV.

Теперь произведем два обхода ротора в противоположном направлении. Нижний стержень 24 паза соединим с верхним стержнем 18 паза, который будет соединен с нижним стержнем 12 паза, а он соединится с верхним стержнем 6 паза.

Следующее соединение согласно шагу обмотки нужно было бы сделать с нижним стержнем 24 паза, но он уже занят, поэтому делаем укороченный шаг и соединяем верхний стержень 6 паза с нижним стержнем 1 паза. Затем соединяем нижний стержень 1 паза с верхним стержнем 19 паза, который соединяется с нижним стержнем 13 паза, а он – с верхним стержнем 7 паза. Другой конец верхнего стержня 7 паза идет на вывод (конец первой фазы).

Обычно обмотки роторов асинхронных двигателей соединяют в звезду. К контактным кольцам подводят три вывода, которые в соответствии в ГОСТ 183 – 66 должны обозначаться: от первой фазы Р1, от второй фазы Р2 и от третьей фазы Р3. На схемах обмоток, которые приводятся в этой главе, начала фаз обозначены Р1, Р2, Р3, а концы фаз по аналогии с обозначениями в схемах обмоток статора с шестью выводами – Р4, Р5, Р6. Соответственно стержни, соединяемые перемычками, обозначены римскими цифрами. Так, например, в первой фазе даны следующие обозначения: Р1 – начало фазы, Р4 – конец фазы, I – IV – перемычка. Во второй фазе: Р2 – начало фазы, Р5 – конец фазы, II – V – перемычка. В третьей фазе: Р3 – начало фазы, Р6 – конец фазы и III – VI – перемычка. После двух обратных обходов мы получили четыре катушечные группы, состоящие каждая из двух катушек. Четыре катушечные группы соответствуют числу полюсов, а две катушки в каждой группе соответствуют числу пазов на полюс и фазу.

Таким образом, стержневая обмотка ротора волнового типа включает три элемента: стержни верхнего слоя, стержни нижнего слоя и перемычки.

§50. Расположение перемычек и выводов фаз.

Ротор является вращающейся частью машины. Для вращения ротора без биений нужно, чтобы его центр тяжести совпадал с осью вращения. Это возможно только в том случае, если все элементы обмотки расположены равномерно по окружности, что в первую очередь зависит от расположения начал фаз. Поэтому в обмотках роторов асинхронных двигателей начала фаз располагают на расстоянии не 120 электрических градусов, как в статорных обмотках, а равномерно по окружности, т. е. на расстоянии 120 геометрических градусов. Но при этом должно быть выполнено условие электрической симметрии. Для соблюдения электрической симметрии начала фаз должны быть сдвинуты одно относительно другого на расстояние 120 или 240 электрических градусов плюс любое целое число раз по 360 электрических градусов. Такими углами, кроме 120 и 240 электрических градусов, являются 480, так как $480 - 360 = 120$; 600, так как $600 - 360 = 240$; 2400, так как $2400 - 6 \times 360 = 2400 - 2160 = 240$ и многие другие. Если начала фаз расположены равномерно по окружности, то равномерно будут расположены концы фаз и перемычки. Проследим это по схеме, показанной на рис. 113. Здесь начала фаз выходят из 1, 9 и 17 пазов. В окружности при $p = 2$ будет: $360 \times 2 = 720$ электрических градусов. Угол между пазами: $720 / 24 = 30$ электрическим градусам. Шаг между началами составляет восемь пазовых делений. Следовательно, начала фаз расположены равномерно по окружности.

Электрическая симметрия также выдержана, так как 30 × 8 = 240 электрических градусов. Концы фаз выходят из 7, 15 и 23 пазов, разность между которыми также восемь пазовых делений. Как видно на схеме, равномерно расположены и перемычки, так как между соседними перемычками пропущено по одному пазу. Таким образом, в этой схеме выполнены требования и электрической симметрии, и равномерного расположения по окружности начал и концов фаз, а также перемычек. Следует учесть, что не во всех обмотках можно одновременно выполнить требования геометрической и электрической симметрии. Если число пар полюсов кратно трем, то начала фаз и перемычки нельзя расположить равномерно по окружности. Это видно из следующего примера.

Составим обмотку статора с данными: z = 72; 2p = 6. В этой обмотке окружность содержит 360 × 3=1080 электрических градусов, а угол между пазами – 15 электрических градусов. Если бы расположили три выводных конца равномерно по окружности (через 24 пазовых деления) в 1, 25 и 49 пазах, то между этими выводами было бы 24 × 15 = 360 электрических градусов, т. е. все выводы принадлежали бы одной фазе. А нам надо вывести начала трех разных фаз. Поэтому приходится отказаться от равномерного распределения выводов по окружности ротора и подбирать другие пазы, чтобы сохранились условия электрической симметрии обмотки.

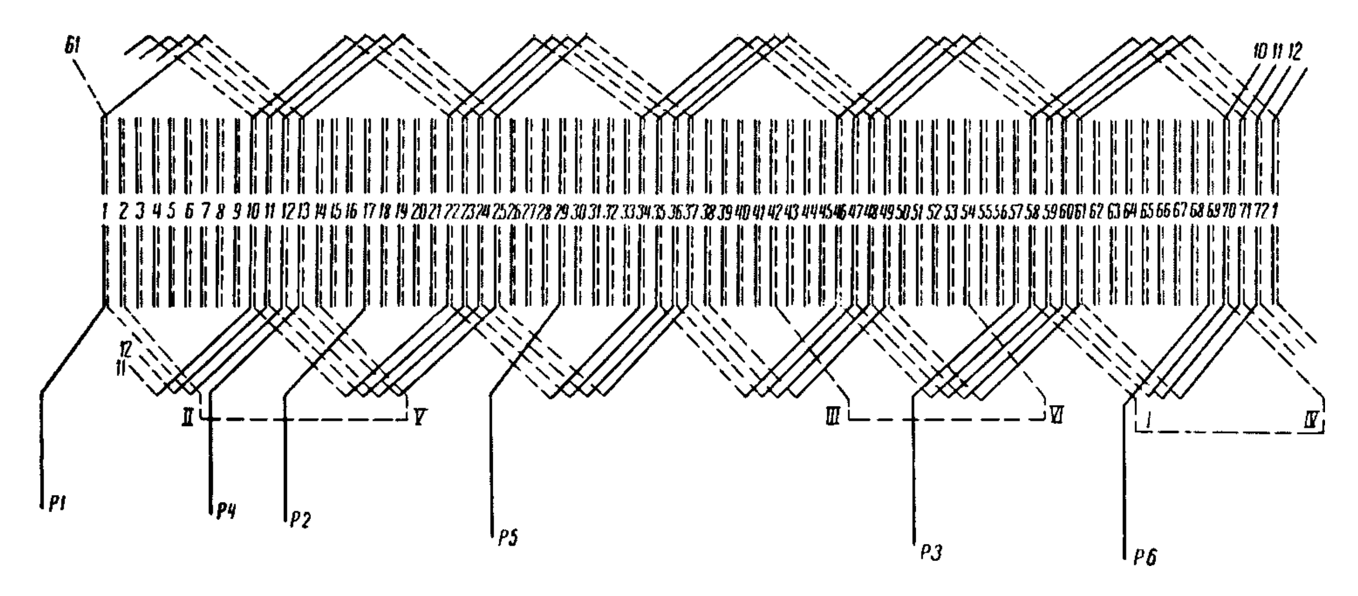


Рис. 114. Схема обмотки ротора с числом пар полюсов кратным трем.

На рис. 114 показана схема этой обмотки, из которой видно, что начало первой фазы взято, как обычно, из 1 паза. Начало второй фазы сдвинуто вправо на 16 пазовых делений и выходит из 17 паза. Расстояние между началами первой и второй фаз составляет 16 × 15 = 240 электрических градусов, что удовлетворяет условиям электрической симметрии. Начало третьей фазы также сдвинуто на 16 пазовых делений, но в другую сторону от 1 паза. Оно выходит из 57 паза. Если к 57 прибавить 16, получим 73. Из этого числа надо вычесть 72 и получим 1. Так мы убедились, что между началами первой и третьей фаз также 240 электрических градусов.

Проверим угол между началами второй и третьей фаз. Для этого возьмем разность между номерами пазов, из которых начала этих фаз выходят: 57 – 17 = 40 пазовых делений, что соответствует углу 40 × 15 = 600 электрических градусов. Вычтем полную окружность и получим 600 – 360 = 240 электрических градусов. Таким образом, требования электрической симметрии выдержаны для всех трех фаз. Но начала фаз не будут распределены равномерно по окружности. Это отразится и на распределении концов фаз и перемычек. Неравномерность распределения выводов и перемычек для этой же обмотки особенно наглядно показана на торцовой схеме этой обмотки (см. рис. 121).

Из рассмотрения этого примера видно, что при числе пар полюсов, кратном 3 ($2p = 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60$), можно выдержать электрическую симметрию обмотки, подбирая расстояния между началами фаз, равное 120 или 240 электрическим градусам плюс любое целое число полных электрических окружностей. Но у этих обмоток нельзя добиться равномерного распределения по окружности начал и концов фаз, а также перемычек. Поэтому при балансировке ротора потребуются большие балансировочные грузы, чтобы уравновесить смещение его центра тяжести.

§51. Обмотки с удлиненными и укороченными переходами.

Как было сказано ранее, волновые обмотки роторов выполняют с диаметральным шагом, за исключением одного шага при каждом обходе ротора, который делают удлиненным или укороченным. Чаще встречаются обмотки с укороченными переходами, которые позволяют экономить медные шины и изоляционные материалы. Однако некоторые заводы применяют обмотки с удлиненными переходами, чтобы упростить ремонт. При ремонте в процессе выравнивания концов стержней часть длины стержня срезают. В обмотках с удлиненными переходами стержни имеют некоторый запас длины, который используют при переходе на обмотку с укороченными переходами. На рис. 115 показана схема волновой обмотки ротора со следующими данными: $z = 36$; $2p = 4$; $q = 3$. На схеме показаны соединения только в первой фазе. Каждая катушечная группа состоит из трех катушек, так как число пазов на полюс и фазу равно трем. Число катушечных групп в фазе равно числу полюсов, т. е. четырем. На схеме показаны начала и концы других фаз, а также перемычки этих фаз.

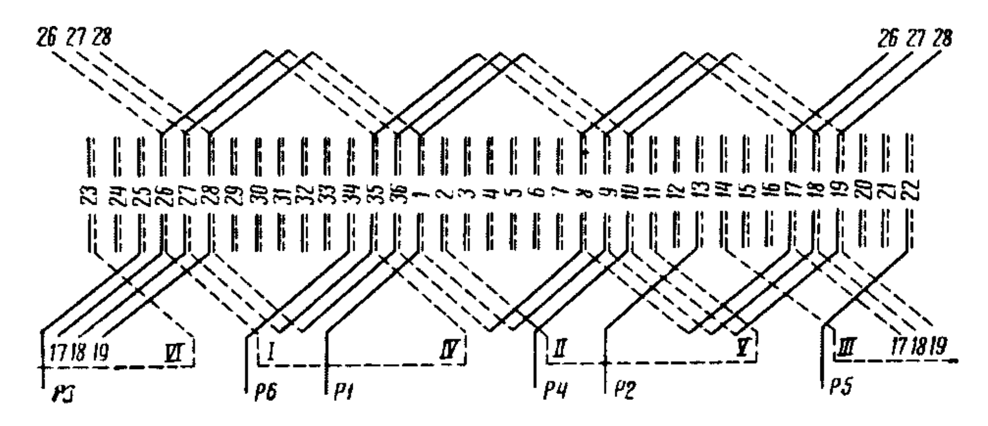


Рис. 115. Схема обмотки ротора с укороченными переходами.

Ввиду того что число пар полюсов некратно трем, выводы и перемычки распределены равномерно по окружности. Для упрощения чтения схемы в местах разрывов лобовых частей обмотки поставлены числа, обозначающие номера пазов, в которые лобовые части должны попасть после перехода с одного конца схемы на другой. Это ускоряет разбор схемы и уменьшает вероятность ошибок. Эта схема выполнена с укороченными переходами, так как в конце каждого обхода диаметральный шаг обмотки 1 – 10 заменяется укороченным шагом 1 – 9. В обмотках с укороченными переходами каждый следующий обход смещается по сравнению с предыдущим влево. Поэтому по расположению начала первой фазы по отношению к первой катушечной группе видно, что эта обмотка с укороченными переходами. Начав обмотку с 1 паза, мы перемещаемся в 36, а затем в 35 паз.

На рис. 116 показан другой вариант схемы для той же машины. Число пазов и число полюсов сохранились прежними, а следовательно, и число пазов на полюс и фазу. Поэтому по внешнему виду эти схемы очень похожи одна на другую. Но при внимательном рассмотрении мы увидим разницу между ними.

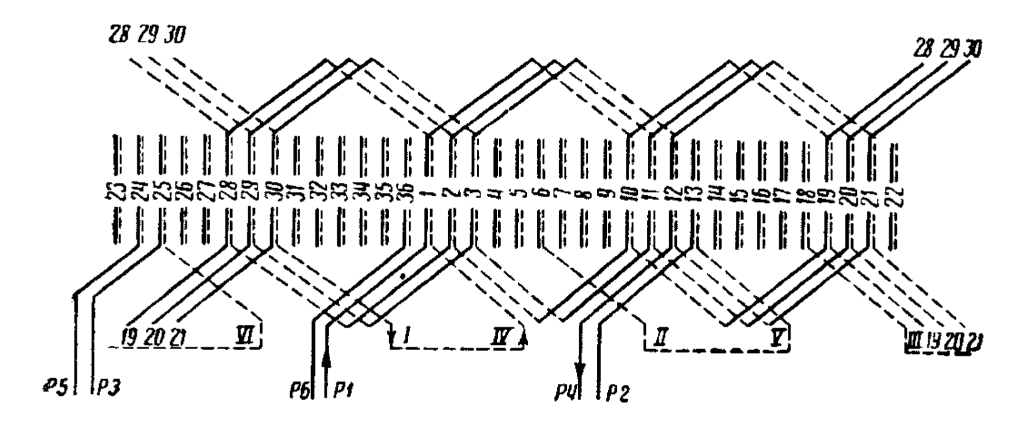


Рис. 116. Схема обмотки ротора с удлиненными и укороченными переходами.

Прежде всего, эта обмотка с удлиненными переходами, что видно по расположению начала первой фазы по отношению к первой катушечной группе. Обходя ротор, мы будем от 1 паза смещаться во 2 и 3 пазы. Но это не простая обмотка с удлиненными переходами. Сделав первые три обхода ротора, увидим, что после перемычки переходы становятся укороченными. Такой выбор переходов не нарушает условий симметрии обмотки. Достоинство же такой обмотки заключается в том, что в ней отсутствуют пересечения перемычек с выводами фаз. Это более удобно для выполнения обмотки.
Формулу (2) для определения шага по пазам можно выразить иначе, если в числитель вместо z подставить его значение $2pmq$. Тогда формула примет такой вид:

$$y = \frac{2p \times m \times q}{2p} = m \times q \quad (14)$$

В трехфазных обмотках число фаз равно трем, поэтому можно написать, что $y = 3q$. Таким образом, если известно число пазов на полюс и фазу, то шаг обмотки (диаметральный) можно определить, умножив q на 3. Тогда укороченный шаг обмотки yукор = $3q - 1$, а удлиненный шаг yудл = $3q + 1$. Обычно в схемах волнового типа обход катушечных групп начинается от начала фазы по часовой стрелке, а после перемычки направление обходов меняется на обратное. Примерами могут служить схемы, показанные на рис. 113, 114, 115, 116.

§52. Конструкции перемычек.

Перемычки в роторных обмотках волнового типа выполняют различно. В машинах средней мощности перемычки или выгибают из одного куска шины вместе с двумя нижними стержнями или приваривают к этим стержням до укладки обмотки в пазы. В этом случае обмотка состоит из z верхних стержней, (z – 6) нижних стержней и трех перемычек со стержнями. Стержни с такими перемычками вкладывают в пазы первыми, а перемычки помещают в выточке нажимной шайбы. В машинах большой мощности перемычки припаивают к стержням при помощи соединительных хомутиков после укладки стержней в пазы. В этом случае для обмотки ротора заготовляют z верхних стержней и z нижних стержней; к шести из них припаивают перемычки. В обоих случаях наличие перемычек усложняет выполнение обмотки. Поэтому на некоторых электромашиностроительных заводах применяют обмотки роторов без перемычек. В таких обмотках поворот в каждой фазе осуществляют при помощи стержня, переходящего в пазу из одного слоя в другой. На рис. 117*а* показан в разрезе паз, в котором лежит переходный стержень 1. Образовавшиеся пустые места заполнены отрезками обмоточного провода 2, которые вкладывают для устранения перемещений стержня в пазу при вращении ротора.
На рис 117*б* изображена схема обмотки двигателя с переходными стержнями, в которой перемычки отсутствуют.

Второе достоинство этой схемы заключается в том, что начала фаз, которые подводят к контактным кольцам, выходят из нижнего слоя обмотки, а не из верхнего, как во всех предыдущих схемах. Поэтому соединительные пластины не пропускают между стержнями нижнего слоя и все хомутики располагают симметрично по окружности.

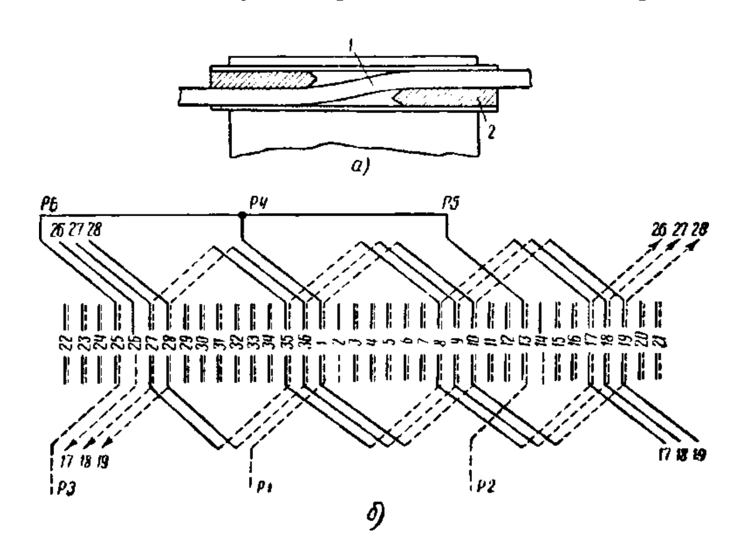


Рис. 117. Обмотка ротора с переходным стержнем:
а – переходный стержень, *б* – схема обмотки.

Проследим соединения стержней в первой фазе. Начало фазы лежит в нижнем слое 1 паза. Как видно по расположению начала фазы относительно первой катушечной группы, эту обмотку выполняют с укороченными переходами и последний шаг в каждом обходе 1 – 9, а не 1 – 10. Сделав первые три обхода, приходим к стержню 26, который является переходным в первой фазе. Он начинается в верхнем слое и на середине ротора переходит в нижний слой. В таких обмотках переходный стержень в каждой фазе сдвинут относительно начала фазы на ($2z$ / $3p$ – 1) пазов в направлении, обратном ходу обмотки. Определим положение переходного стержня в первой фазе. Сдвиг стержня относительно начала фазы будет: на 2 × 36 / 3 × 2 – 1 = 12 – 1 = 11 пазов.Положение переходного стержня будет: в 36 + 1 – 11 = 26 пазу, как это видно на схеме. Переходный стержень второй фазы будет в 13 – 11 = 2 пазу, а третьей фазы в 25 – 11 = 14 пазу. Соединение концов фаз звездой выполняют на противоположной стороне ротора. При наличии переходных стержней нарушение симметрии находится в допустимых пределах.

§53. Обмотка с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Число пазов q на полюс и фазу в роторных обмотках не всегда бывает целым числом. Встречаются и дробные числа пазов на полюс и фазу, которые чаще всего выражаются целым числом с половиной. Обмотки с дробным q приходится применять в тех случаях, когда при одном и том же штампе для листов ротора выпускают двигатели с разными скоростями вращения. Например, асинхронный двигатель, имеющий синхронную скорость вращения 3000 об/мин. и 30 пазов на роторе, требуется перемотать на меньшую скорость вращения 1500 об/мин. Согласно формуле (9) двигатель при n = 3000 об/мин. имеет два полюса. Следовательно, число пазов на полюс и фазу у такого двигателя будет q = 30 / 2 × 3 = 5. Для уменьшения скорости вращения до 1500 об/мин. нужно увеличить число полюсов вдвое. Поэтому у двигателя на 1500 об/мин.: $2p$ = 4, а q =30 / 4 × 3 = 2,5. Схема волновой обмотки такого двигателя показана на рис. 118. В обмотках с дробным q приходится различать шаги со стороны выводов и с противоположной стороны ротора, так как они должны быть различимы.

Шаги выбирают по следующим формулам.
шаг со стороны противоположной выводам:

$$y1 = 3q \pm 0{,}5 \quad (15)$$

шаг со стороны выводов:

$$y2 = 3q \pm 0{,}5 \quad (16)$$

Расположение знаков + и – в формулах показывает, что если в одной формуле берут знак +, то в другой следует брать знак – .

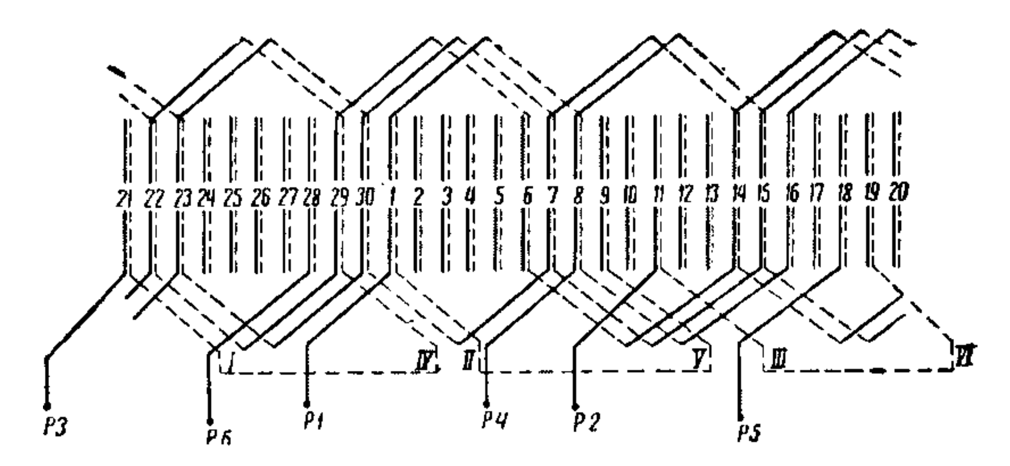


Рис. 118. Схема волновой обмотки ротора с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Для обмотке , изображенной на схеме, взяты шаги $y1 = 3 \times 2{,}5 - 0{,}5 = 7$; $y2 = 3 \times 2{,}5 + 0{,}5 = 8$. Кроме того, в конце каждого обхода берут укороченный переход с шагом $y3 = y2 - 1 = 7$. В обмотках с q равным целому числу с половиной, приходится делать $q - 0{,}5$ обходов в одном направлении и $q + 0{,}5$ обходов в другом направлении. Как видно на схеме, катушечные группы здесь неодинаковые: одни состоят из двух катушек, а другие – из трех, что в среднем дает требуемое q, равное 2,5.

§54 Роторные обмотки с параллельными ветвями.

В предыдущих схемах катушечные группы в фазах соединялись всюду последовательно. При больших токах ротора может появиться необходимость в параллельном соединении. При целом q каждая фаза обмотки разделена перемычкой на две одинаковые части. Поэтому переход от последовательного соединения к соединению в две параллельные ветви легко осуществить, соединив параллельно обе части каждой фазы.



Рис. 119. Соединение двух частей обмотки: *а* – последовательное, *б* – параллельное.

На рис. 119, а показано расположение начала первой фазы, конца фазы и перемычки этой фазы при последовательном соединении. Если разорвать перемычку и соединить вывод, идущий к перемычке и обозначенный 1, с концом фазы Р4, а вывод, обозначенный IV, – с началом фазы Р1, то обе части фазы будут соединены в две параллельные ветви (рис. 119*б*).

При этом направления токов в стержнях сохранятся прежними и поэтому число полюсов обмотки останется тем же. Следует отметить, что при дробном q каждая фаза разделяется на две неодинаковые части. Так, например, на схеме, изображенной на рис. 118, видно, что в первой фазе по одну сторону от перемычки включено 8 стержней, а по другую – 12. Поэтому соединять их параллельно нельзя. В случае необходимости параллельного соединения в обмотках с дробным q приходится прибегать к более сложным схемам с двумя перемычками в каждой фазе.

§55. Обмоточные таблицы.

Всякую схему можно заменить таблицей соединений, в которой числами, выражающими номера пазов, показаны все соединения между стержнями. При помощи этих же таблиц можно определить расположение концов фаз и перемычек, задавшись расположением начал фаз. Начала фаз при числе пар полюсов, не кратном трем, располагают равномерно по окружности ротора. При числе пар полюсов, кратном трем, начало второй фазы сдвигают на $2q$ пазов назад, а начало третьей фазы – на $2q$ пазов вперед (см. рис. 114). В каждом пазу лежат два стержня, обозначаемые в таблицах одним и тем же номером паза, в котором они расположены. На схемах верхние и нижние стержни обозначают условными линиями; сплошной линией – верхний стержень и штриховой линией – нижний. В таблицах около номеров ставят буквы: *в* – Для верхнего стержня и *н* – для нижнего. Таблицы составляют для каждой фазы отдельно. Таблица содержит число вертикальных столбиков, равное числу полюсов, и число строк, равное Удвоенному числу пазов на полюс и фазу. В табл. 5 приведены соединения для обмотки, схема которой изображена на рис. 113. Сравнивая таблицу со схемой, можно легко усвоить правила составления таблиц. В этой обмотке $2p = 4$ и $q = 2$, поэтому таблица каждой фазы состоит из четырех столбиков и четырех строк.

Таблица 5 Таблица соединений к схеме, показанной на рис. 113.

I фаза	II фаза	III фаза
Р1 – 1в – 7н – 13в – 19н 24в – 6н – 12в – 18н	Р2 – 9в – 15н – 21в – 3н 8в – 14н – 20в – 2н	Р3 – 17в – 23н – 5в – 11н 16в – 22н – 4в – 10н
Перемычка	Перемычка	Перемычка
24н – 18в – 12н – 6в 1н – 19в – 13н – 7в – Р4	8н – 2в – 20н – 14в 9н – 3в – 21н – 15в – Р5	16н – 10в – 4н – 22в 17н – 11в – 5н – 23в – Р6

Из таблицы видно, что, взяв начало первой фазы из 1 паза, надо соединять стержни верхнего и нижнего слоя в таком порядке: 1в с 7н, 7н с 13в, 13 в с 19н, 19н с 24в (укороченный шаг), 24в с 6н, 6н с 12в, 12в с 18н и 18н с 24н (перемычка). После перемычки показаны шаги в обратном направлении для второй части 1 фазы.

§56. Торцовые схемы обмоток ротора.

Схемы–развертки, приведенные выше, служат для сравнения различных типов обмоток. На них обычно показывают соединения стержней только в одной из фаз. Если начертить полную схему, то она перестанет быть наглядной и в большом количестве проводов легко запутаться, делая обходы по соединениям в лобовых частях. Особенность волновых обмоток ротора заключается в том, что обмотчику приходится после укладки стержней в пазы выгибать их лобовые части и соединять хомутиками верхние стержни с нижними. Это относительно легко выполнить на стороне, противоположной выводам, так как там все верхние стержни соединяют с нижними. Достаточно правильно соединить одну пару стержней, как другие будут соединяться подряд и поэтому не нужно при каждом соединении проверять шаг обмотки.

Значительно труднее выполнять соединения на стороне выводов. Здесь шесть стержней нижнего слоя соединяют перемычками, и они не участвуют в соединении со стержнями верхнего слоя. В свою очередь от стержней верхнего слоя делают выводы начал и концов фаз. Разные длины переходов требуют правильного расположения удлиненных или укороченных стержней.

Схема – развертка с соединениями в одной фазе мало помогает обмотчику, так как соединения надо делать не по фазам, а подряд, по всей окружности ротора. Для практического пользования гораздо удобнее торцовые схемы.

Торцовая схема представляет собой вид на торец обмотанного ротора со стороны выводов (рис. 120). Стержни пронумерованы номерами пазов, в которых они лежат, но стержни верхнего и нижнего слоев сдвинуты один относительно другого на величину шага обмотки. На каждом радиусе расположены те стержни, которые требуется соединить хомутиком. Стержни, соединяемые перемычками, вынесены в третий слой, ближе к центру схемы. В середине схемы показано соединение концов фаз звездой и расположение выводов от начал фаз, соединяемых с контактными кольцами. Ниже приводятся примеры построения торцовых схем. В качестве примеров взяты обмотки, развернутые схемы которых были приведены ранее. Так, торцовая схема с числом пар полюсов, не кратным трем (рис. 120), соответствует развернутой схеме, показанной на рис. 113, торцовая схема с числом пар полюсов, кратным трем (рис. 121), соответствует развернутой схеме, изображенной на рис. 114, торцовая схема с дробным числом пазов на полюс и фазу (рис. 122) соответствует развернутой схеме, приведенной на рис. 118. Сопоставление этих схем поможет лучше усвоить правила их построения. Для построения торцовой схемы надо провести две окружности, по которым расположатся стержни верхнего и нижнего слоев. Стержни на схемах изображены кружками, так как это позволяет начертить схему, пользуясь только циркулем. Диаметр кружка следует брать от 6 до 10 мм. в зависимости от размеров листа бумаги. Диаметр внутренней окружности можно рассчитать по формуле:

$$D2 = \frac{d \times z}{3{,}14} \quad (17)$$

где d – диаметр кружка; z – число пазов. Диаметр наружной окружности:

$$D1 = D2 + 2d \quad (18)$$

Диаметр окружности, на которой располагают стержни, соединяемые перемычками:

$$D3 = D2 – 2d \quad (19)$$

Теперь надо окружность диаметра $D2$ разделить циркулем на z частей и провести z тонких радиальных линий, которые пересекут все три окружности. На наружной окружности надо начертить 2 кружков и занумеровать их подряд в направлении часовой стрелки. Первый стержень обычно располагают в верхней части окружности и от него ведут счет. По расчету обмотки или из таблицы берем номера пазов, из которых выходят начала и концы фаз. Проводим толстые радиальные линии и обозначаем их Р1, Р2 и т. д. Концы фаз Р4, Р5 и Р6 соединяем окружностью в общую точку звезды, а начала фаз Р1 Р2 и Р3 оставляем свободными для соединения с контактными кольцами. Самой ответственной частью построения торцовой схемы является определение сдвига между номерами стержней верхнего и нижнего слоев. Если ошибиться с определением первого стержня нижнего слоя, то вся схема будет неверной. Поэтому надо внимательно отнестись к нумерации стержней нижнего слоя. Рассмотрим это на примере схемы, показанной на рис. 120. Из схемы (рис. 113), которая изображает ту же самую обмотку, нам известно, что эта схема с укороченными переходами.

По расчету схемы найдем номера пазов 1; 9; 17; 7; 15; 23 из которых выходят начала и концы фаз в верхнем слое стержней. Теперь надо определить, где будет расположен стержень 1 нижнего слоя.
Обратимся к табл. 5. Стержень 1н мы найдем в последней строке первой фазы. Он помещается между стержнями 6в и 19в. Чтобы знать, с каким стержнем верхнего слоя должен быть соединен стержень 1 нижнего, надо из табл. 5 взять тот стержень верхнего слоя, с которым 1н соединяется шагом со стороны выводов, так как торцовая схема – это вид на ротор со стороны выводов.
Схему соединений начинают с шага со стороны, противоположной выводам. Этот шаг будет первым в каждой строке. Таким образом, соединение 1н – 19в производят со стороны, противоположной выводам. Значит, со стороны выводов 1н соединен с 6в. Поэтому в нижнем слое стержень 1н должен находиться под 6в, что мы и видим на торцовой схеме (рис. 120).

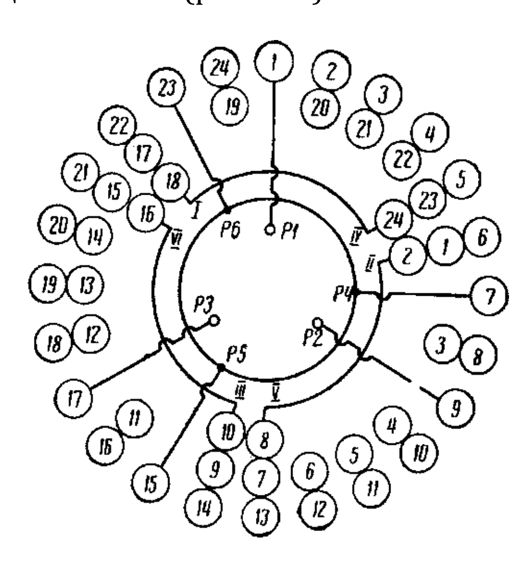


Рис. 120. Торцовая схема обмотки ротора.

Рис. 121. Торцовая схема обмотки ротора с числом пар полюсов кратным трем.

Для определения сдвига между номерами стержней верхнего и нижнего слоев можно было и не составлять полной схемы соединений, а взять только один шаг со стороны выводов. Таким шагом в начале табл. 5 будет шаг 7н – 13в. Это показывает, что под стержнем 13 верхнего слоя лежит стержень 7 нижнего слоя. Можно было бы вести счет стержней нижнего слоя от стержня 7. Теперь начнем нумерацию стержней нижнего слоя тоже по часовой стрелке. Но шести стержням на этой окружности не хватит места, так как они заняты выводами от начал и концов фаз. Поэтому шесть номеров надо перенести на третью окружность и соединить их перемычками. Номера этих стержней мы узнаем из табл. 5. На схеме эти номера надо расположить под номерами соседних номеров нижнего слоя. На схеме видно, что стержень 2 со второй окружности перенесен на третью. Следующим номером стержня этой фазы будет 8. Его мы соединим перемычкой со стержнем 2. Аналогично нанесем две другие перемычки.

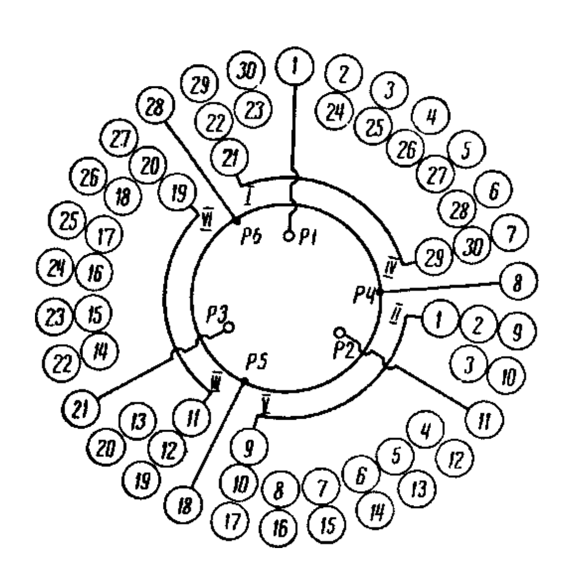


Рис. 122. торцовая схема обмотки ротора с дробным числом на полюс и фазу.

§57. Укладка обмотки в пазы.

Стержни роторной обмотки поступают на укладку в пазы только с одной изогнутой лобовой частью (рис. 123). Поэтому после укладки в пазы производят гибку вторых концов стержней.

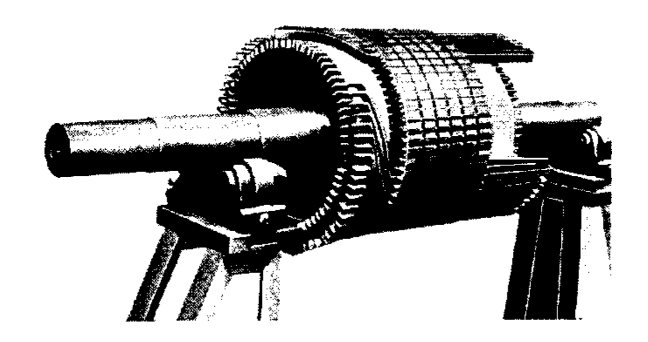


Рис. 123. Ротор в процессе обмотки.

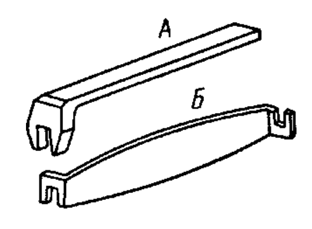


Рис. 124. Ключи для гибки стержней ротора.

Для защиты изоляции стержней в пазы вкладывают гильзы из электрокартона толщиной 0,3 мм. Затем приступают к укладке остальных стержней нижнего слоя. Уложенные стержни осаживают на дно паза клиновидными деревянными оправками. Изогнутые по винтовой линии лобовые части стержней осаживают на изолированную поверхность обмоткодержателей молотком через фибровую или текстолитовую прокладку.

Концы изогнутых лобовых частей стягивают мягкой стальной проволокой, плотно прижимая к обмоткодержателям. Второй проволочный бандаж наматывают посередине лобовых частей. Эти бандажи временные и служат для удержания стержней в процессе дальнейшей гибки лобовых частей.

После этого приступают к гибке лобовых частей со стороны, противоположной выводам. Стержни гнут при помощи двух ключей, показанных на рис. 124. Ключ А берут в левую руку и левом надевают на прямую часть стержня, выходящую из паза. Ключ Б берут в правую руку, надевают на лобовую часть стержня и подводят вплотную к ключу А. Ключом Б изгибают стержень под углом. Первые стержни нельзя сразу изогнуть на требуемый схемой угол. Это объясняется тем, что рядом с ними лежат прямые части соседних стержней. Поэтому первый стержень удается изогнуть только на величину расстояния между стержнями, второй – на двойное расстояние, третий – на тройное и т. д.

Только после изгиба стержней, занимающих два – три шага обмотки, возможна гибка остальных стержней на требуемый схемой угол.

Последними дополнительно изгибают те стержни, с которых был начат процесс гибки. Затем загибают концы стержней, на которые будут надевать соединительные хомутики. Эту операцию выполняют теми же ключами. После загибки концов снимают временные бандажи, на лобовые части накладывают изоляцию между слоями лобовых частей, указанную в чертеже, и в пазы кладут прокладки между стержнями верхнего и нижнего слоев. После этого в пазы вставляют стержни верхнего слоя со стороны, противоположной выводам. Когда все верхние стержни вложены в пазы, на стороне ротора, противоположной выводам, наматывают временные бандажи, а концы стержней на этой стороне соединяют тонкой медной проволокой для первого испытания обмотки на отсутствие замыканий на корпус.

Если изоляция стержней выдержит испытание, то загибают концы верхних стержней со стороны выводов аналогично загибке стержней нижнего слоя с той лишь разницей, что изгиб стержней делают в противоположную сторону. На загнутые лобовые части верхних стержней также ставят два временных бандажа, которыми верхние стороны

лобовых частей прижимают к изоляции, лежащей между верхними и нижними стержнями. Ввиду того что в шести пазах нижнего слоя лежат стержни, соединенные перемычками, число стержней, которые нужно соединить в верхнем и нижнем слоях обмотки, неодинаково. Число стержней верхнего слоя равно числу пазов z, а число стержней нижнего слоя будет $z = 6$. Из шести стержней верхнего слоя три припаивают к кольцу, при помощи которого осуществляется соединение трехфазной обмотки звездой, а три других подводят к контактным кольцам.
В процессе изготовления обмотки производят испытание прочности изоляции между обмоткой и корпусом. Один электрод от высоковольтного трансформатора присоединяют к любому из стержней обмотки, а другой – к зубцу ротора или валу. Так как все стержни соединены между собой медной проволокой, то одновременно испытывают изоляцию всех стержней. Стержни верхнего и нижнего слоев спаивают или сваривают. Перед паянием стержни попарно соединяют медными хомутиками. Их сгибают из медной полосы на оправке так, что конец ленты перекрывает начало по одной или двум сторонам периметра хомутика. Не следует навивать хомутик из большего числа слоев ленты, потому что такие хомутики плохо пропаиваются. Слои стержней разделены изоляцией, и концы их не могут плотно прилегать один к другому. Поэтому между ними в хомутиках забивают медные клинышки. Для получения надежного соединения стержней необходимо, чтобы они плотно охватывались хомутиком и зазоры между хомутиком и стержнями были минимальными. Концы хомутиков соединяют заклепками или точечной сваркой. Способы соединения стержней роторной обмотки рассмотрены в главе XIII.

§58. Короткозамкнутые обмотки ротора.

Асинхронные двигатели мощностью до 1000 кВт выпускаются промышленностью преимущественно в виде электрических машин с короткозамкнутым ротором. Такие двигатели не имеют контактных колец, щеткодержателей и щеток. В пазы вставлены голые неизолированные стержни, соединенные между собой кольцами на торцах ротора и образующие так называемую "беличью клетку". Для двигателя мощностью до 160 кВт пазы ротора заливают алюминием. Одновременно отливают замыкающие кольца и вентиляционные крылья.
Заливка роторов алюминием является прогрессивным технологическим процессом, при котором с наименьшими затратами труда и материала получается готовая беличья клетка вместе с вентилятором. При заливке алюминием не предъявляется высоких требований к качеству поверхности стенок пазов. Заливка может быть выполнена при любой форме паза и обеспечивает хороший контакт между стержнями и замыкающими кольцами без применения паяния и сварки. При отливке вентиляционных крылышек вместе с замыкающими кольцами обеспечивается хороший отвод тепла. При насадке ротора на рифленый вал легко получить скос пазов. Даже более низкая по сравнению с медью электрическая проводимость алюминия в короткозамкнутых роторах становится положительным фактором, повышая пусковой момент двигателя.
В двигателях нормального исполнения для заливки роторов применяют алюминий, получаемый в виде чушек, который гарантирует необходимое постоянство электрического сопротивления.
Для повышения электрического сопротивления ротора электродвигатели малой мощности с повышенным скольжением выполняли с латунными стержнями. Теперь для этих двигателей используют алюминиевый сплав, имеющий удельное сопротивление, равное удельному сопротивлению латуни. Это дало возможность значительно снизить трудоемкость работы и сэкономить медь, потреблявшуюся для латунных стержней и замыкающих колец.
Для заливки роторы набирают на оправку 1 (рис. 125) вместе с чугунными формами 2, образующими замыкающие кольца обмотки.

Спрессованный пакет листов ротора запирают на оправке скобой 3, согнутой из полосовой стали, и помещают в печь с температурой 500 – 550°С. Нагретый ротор устанавливают на плите и заливают расплавленным алюминием через литниковое отверстие 4.

При массовом производстве заливку роторов алюминием производят в машинах для литья под давлением, которые обеспечивают высокую производительность и хорошее качество заливки, исключающее необходимость контроля каждого ротора. Заливку алюминием сначала применяли только для роторов электродвигателей малой мощности. Современная технология позволяет заливать алюминием роторы двигателей мощностью 100 кВт и выше даже при наличии у них радиальных вентиляционных каналов. Чтобы расплавленный алюминий не затекал в вентиляционные каналы, между пакетами вставляют трубки, имеющие форму паза ротора. Беличьи клетки короткозамкнутых роторов двигателей большой мощности выполняют из стержней и колец из меди или медных сплавов, соединяя стержни с кольцами паянием или сваркой. Используют следующие короткозамкнутые роторы, с двойной клеткой, с глубоким пазом и с "бутылочным" стержнем.

Двойная клетка (рис. 126*а*) применяется только для двигателей с большим пусковым моментом. Она состоит из пусковой клетки 1 и рабочей 2, стержни которых замкнуты кольцами 3 и 4. Пусковую клетку выполняют из латунных стержней, а рабочей – из медных. Работа асинхронного двигателя с двойной клеткой основана на следующем принципе: в момент пуска, когда ротор неподвижен, в нем, как во вторичной обмотке трансформатора, наводятся э. д. с. такой же частоты, как и в статоре, т. е. 50 Гц. Магнитное поле значительно сильнее вокруг рабочей клетки, так как она окружена стальными листами сердечника. Поэтому ее индуктивное сопротивление очень велико по сравнению с пусковой клеткой, и ток устремляется в стержни пусковой клетки. Стержни этой клетки имеют большое активное сопротивление, так как они выполнены из латуни. В результате этого уменьшается пусковой ток электродвигателя и увеличивается пусковой вращающий момент, который пропорционален сопротивлению ротора. Когда ротор развернется до номинального числа оборотов, частота тока в нем будет небольшой. При этом индуктивное сопротивление рабочей клетки резко снизится и по ней начнет протекать ток.

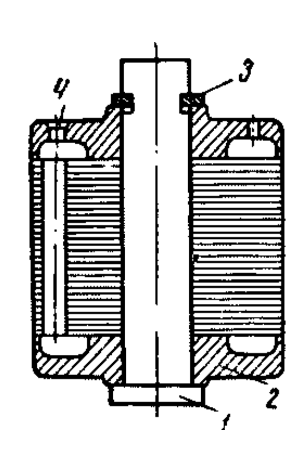


Рис. 125. Форма для заливки ротора алюминием.

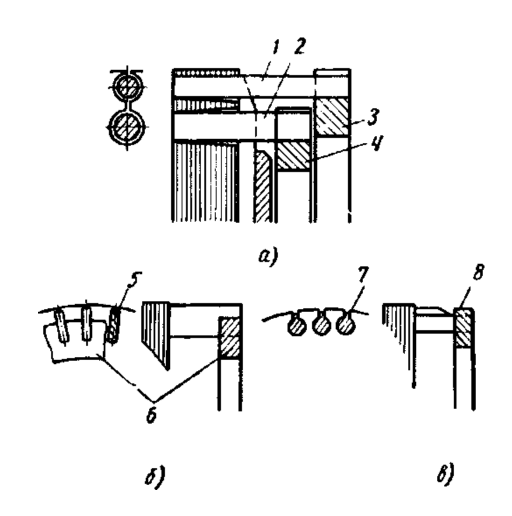


Рис. 126. Стержневые обмотки короткозамкнутых роторов:
а – двойная клетка, *б* – глубокий паз, *в* – "бутылочный" стержень.

Для выполнения беличьей клетки нарезают из прутков стержни клеток 1 и 2 такой длины, чтобы они выступали над поверхностью кольца на 2 – 4 мм. Концы стержней снимают на точильном камне на конус и забивают в пазы.

Замыкающие кольца 3 и 4 сгибают из медной полосы и сваривают в стык. Поверхности колец протачивают и сверлят в них отверстия для стержней. Зазоры между стержнями и отверстиями в кольцах должны быть 0,2 – 0,4 мм. Кольца надевают на концы стержней и в местах соединения пропаивают твердым припоем или сваривают. Изготовление замыкающих колец с просверленными отверстиями является трудоемким процессом. Еще труднее бывает надеть кольца на стержни. Это объясняется тем, что при забивании в пазы стержни деформируются, а концы их расплющиваются и не входят в имеющиеся в кольцах отверстия. Технологически значительно проще выполнение роторов с глубоким пазом (рис. 126*б*). При пуске двигателя ток протекает только по верхней части стержня 5, а затем переходит в нижнюю часть. Здесь стержни и замыкающие кольца 6 делают из меди, что упрощает процесс их сварки. Сварочный шов имеет большую длину, обеспечивающую надежность соединения. Однако роторы с глубоким пазом недостаточно надежны при эксплуатации двигателей с частыми пусками. Вследствие неравномерного нагрева стержней по высоте они выгибаются, что влечет за собой разрывы соединений между стержнями и замыкающими кольцами.
Для устранения недостатков роторов с глубоким пазом на заводе "Электросила" была разработана специальная форма стержня, которая получила название бутылочной (рис. 126*в*). Это круглые стержни 7 с прямоугольными полочками. Роторы с бутылочным профилем стержня обладают почти такими же пусковыми характеристиками, как и роторы с глубоким пазом, но благодаря наличию расширенной нижней части они более стойки против деформаций при нагреве. Для соединения бутылочных стержней с замыкающими кольцами 8 должны быть сняты полочки в верхней части стержня. Эту операцию производят штампом под эксцентриковым прессом.

Контрольные вопросы.
1. Из каких элементов состоит стержневая обмотка ротора?
2. Как устроены перемычки стержневой обмотки?
3. Почему применяют обмотки с переходным стержнем?
4. Расскажите о переключении обмотки ротора на две параллельные ветви.
5. На чем основаны таблицы стержневых обмоток?
6. В каком порядке составляют торцовую схему обмотки ротора?
7. Какие особенности имеет обмотка ротора с дробным числом пазов на полюс и фазу?
8. Расскажите о технологическом процессе укладки в пазы обмотки ротора.
9. Как соединяют стержни верхнего и нижнего слоя?
10. Какие существуют обмотки короткозамкнутых роторов?

Глава XII
Обмотки якоря.
§59. Основные сведения.

Обмотки якоря машин постоянного тока состоят из катушек, выводы которых присоединяют к пластинам коллектора. Часть обмотки, соединенная с двумя коллекторными пластинами, называется секцией. Обычно катушка состоит из нескольких секций. В обмотках якоря машин постоянного тока, кроме шага по пазам, различают еще *шаг по коллектору,* который обозначают *у*к. Шаг по коллектору выражается разностью номеров коллекторных пластин, к которым подключены выводные провода одной секции. К каждой пластине присоединяют конец одной секции и начало другой. Таким образом, через коллекторные пластины провода обмотки образуют замкнутую цепь. Число секций в катушке определяет соотношение между числом пазов якоря и числом пластин коллектора. Число пластин коллектора k во столько раз больше числа пазов якоря z, сколько секций *u*п содержит катушка обмотки.

$$k = u\text{п} \times z \quad (20)$$

Например, если катушка имеет 3 секции, а якорь 45 пазов, то число пластин коллектора:

$$k = 3 \times 45 = 135.$$

Исключение из этого правила составляют только обмотки с "мертвыми" секциями (см. §64). В зависимости от шага по коллектору различают обмотки якоря – простые петлевые и волновые, сложные петлевые и волновые. Обычно обмотки якоря располагаются в пазах в два слоя и являются двухслойными. Однако есть "лягушечьи" обмотки, которые располагаются в пазах в четыре слоя.

Все обмотки якоря машин постоянного тока выполняют из заранее намотанных катушек. При полузакрытой форме паза обмотки являются всыпными и изолированы от сердечника только пазовыми гильзами. При открытой форме паза катушки до укладки в пазы изолируют и пропитывают. Исключением являются обмотки якоря малых машин мощностью до 1 кВт, которые наматывают проводом непосредственно в пазы якоря. Такие обмотки называются ручными в отличие от шаблонных. Для этих обмоток применяют в массовом производстве полуавтоматические обмоточные станки. В последнее время появились совершенно новые типы якорных обмоток, в которых обмоточные провода и коллекторные пластины заменены печатными схемами.

Для обмоток якоря используют как развернутые, так и торцовые схемы. Особенностью якорных обмоток является то, что все катушки соединяются с коллектором и располагаются в пазах симметрично. Поэтому нет необходимости чертить всю схему обмотки, достаточно указать положение на якоре первой катушки. Такие схемы называются *практическими*.

Пазовые части секций и их выводные концы должны быть расположены симметрично относительно оси катушки. Поэтому перед укладкой катушек в пазы якорь размечают под обмотку. Для построения схем обмотки якоря пользуются следующими шагами обмотки (рис. 127).

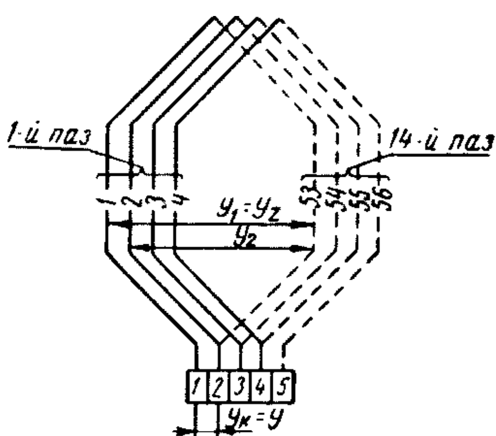


Рис. 127. Практическая схема простой петлевой обмотки.

$y1$ – первый шаг, равный расстоянию между началом и концом секции;

$y2$ – второй шаг, равный расстоянию между концом данной секции и началом следующей секции;

y – результирующий шаг, равный расстоянию между началами следующих по схеме одна за другой секций;

yк – шаг по коллектору, равный расстоянию между началами следующих по схеме одна за другой секций, измеренный по окружности коллектора;

yz пазам – расстояние между сторонами катушки. Шаг между секциями измеряют числом секций, шаг по коллектору – числом пластин, шаг по пазам – числом пазов.

Чтобы обмотка могла быть выполнена из одинаковых секции, надо выбрать первый шаг по формуле:

$$y1 = yz \times u\text{п} \quad (21)$$

Это условие не выполняется только в ступенчатых обмотках (см. §67).

§60. Простая петлевая обмотка.

В петлевых обмотках секции образуют форму петель, откуда обмотки и получили свое название. Последовательное соединение секций обусловливает следующее соотношение между обмоточными шагами (рис. 127):

$$y = yк = y1 - y2 = \pm 1 \quad (22)$$

Если результирующий шаг положителен, то при обходе обмотки секции будут смещаться вправо (правая петлевая обмотка), а если результирующий шаг отрицателен, то смещение секций происходит влево (левая петлевая обмотка). В левой петлевой обмотке лобовые соединения со стороны коллектора перекрещиваются, что ведет к некоторому удлинению их. Поэтому левую петлевую обмотку применяют редко.
В простой петлевой обмотке шаг по коллектору всегда равен единице. Это значит, что начало и конец секции присоединяют к двум соседним коллекторным пластинам. На схемах и рабочих чертежах это обозначают так: шаг по коллектору 1 – 2. Шаг обмотки по пазам y_z показывает, на каком расстоянии должны находиться стороны катушки. Шаг по пазам, как и для двухслойных обмоток переменного тока, определяют по формуле (2). Если число пазов не делится без остатка на число полюсов, то за шаг обмотки принимают ближайшее целое число. Например: z = 26, 2p = 4, yz = 26 / 4 = 6,5; шаг берут равным 6, т. е. из 1 паза в 7.
В связи с тем, что каждая параллельная ветвь обмотки должна содержать секции с одинаковым направлением э. д. с, в простой петлевой обмотке получается параллельная ветвь всякий раз при обходе группы секций, находящихся между двумя соседними нейтральными зонами магнитного поля машины. А так как таких зон столько, сколько полюсов в машине, то в простой петлевой обмотке число параллельных ветвей равно числу полюсов:

$$2a = 2p \quad (23)$$

Для использования всех параллельных ветвей обмотки на коллекторе должно быть установлено число щеток, равное числу полюсов. Простые петлевые обмотки применяют в машинах средней мощности низкого напряжения, чтобы разделить большой ток якоря на параллельные ветви и тем самым уменьшить сечение провода.
На рис. 127 показана практическая схема – развертка простой петлевой обмотки со следующими данными: z = 108, 2p = 2a = 8, uп = 4. Верхние стороны секций проведены сплошными линиями, нижние – штриховыми. Коллекторные пластины изображены прямоугольниками. Для равносекционной петлевой обмотки шаги обмотки определяют по следующим формулам: yz = z / 2p = 108 / 8 = 13,5 принимаем 13.

$$y = yк = 1$$
$$k = uz = 4 \times 108 = 432$$
$$y1 = yz \times uп = 13 \times 4 = 52$$
$$y2 = y1 - y = 52 - 1 = 51$$

На схеме видно, что стороны первой катушки лежат в пазах 1 и 14. Первую секцию верхней стороной соединяют с коллекторной пластиной 1, а нижней стороной – с коллекторной пластиной 2. Остальные секции соединяют с другими коллекторными пластинами аналогично. Это правая петлевая обмотка, так как при обходе ее передвигаются по коллектору вправо. В пазу 1 лежат провода 1, 2, 3 и 4, а в пазу 14 – провода 53, 54, 55, 56. Соединения в двухслойной обмотке производят между верхними проводами паза 7 и нижними проводами паза 14.
Упражнения. Составить практические схемы следующих простых петлевых обмоток:
1) z = 48, 2p = 6, uп = 3;
2) z = 60, 2p = 8, uп = 4;
3) z= 65, 2p = 10, uп = 4.

§61. Сложно – петлевая обмотка.

Сложно–петлевая обмотка состоит из ряда простых петлевых обмоток, присоединенных к одному коллектору. В результате число параллельных ветвей обмотки увеличивается. Например, если взять т простых обмоток, то в сложной обмотке число параллельных ветвей будет в т раз больше, чем в простой. Таким образом, число параллельных ветвей сложно–петлевой обмотки:

$$2a = 2p \times m \quad (24)$$

Сложно – петлевую обмотку называют также множественно – петлевой. В сложно – петлевой обмотке для равномерного и симметричного расположения на якоре простых обмоток секции последних чередуются. Первую секцию относят к первой простой обмотке, вторую – ко второй и т. д. Результирующий шаг обмотки и шаг по коллектору выражают формулой:

$$y = yк = \pm m \quad (25)$$

Обычно применяют правую сложно – петлевую обмотку, у которой перед m стоит знак плюс. Остальные шаги сложно – петлевые обмотки рассчитывают так же, как и для простой петлевой. К сложно–петлевым обмоткам прибегают в тех случаях, когда нужно увеличить число параллельных ветвей обмотки, чтобы снизить ток в каждой параллельной ветви. Это бывает необходимо в низковольтных машинах или машинах большой мощности, у которых велик ток якоря. Часто используют двукратную сложно – петлевую обмотку с m = 2. Число щеток по окружности коллектора в сложно–петлевой обмотке равно числу полюсов. На рис. 128 показана практическая схема сложно–петлевой обмотки со следующими данными:

z = 32; $2p$ = 4; uп = 2; m = 2.

Остальные данные обмотки рассчитывают по формулам:

$$2a = 2pm = 8, \qquad k = uпz = 64, \qquad yz = \frac{z}{2p} = 8, \qquad y = yк = 2$$

$$\text{y1} = \text{yzuп} = 16, \qquad y2 = y1 - y = 14$$

Если yк и k имеют общий наибольший делитель q, то сложная обмотка будет состоять из q отдельных замкнутых обмоток. При q = 2 получим двукратнозамкнутую обмотку. При обходе двукратнозамкнутой обмотки секции первой обмотки будут соединены с нечетными коллекторными пластинами, а секции второй обмотки – с четными. Таким образом, эти обмотки на якоре между собой не соединены и замыкаются только через щетки.

В обмотке, схема которой изображена на рис. 128, общий наибольший делитель для yк и k будет q = 2. Поэтому обмотка является двукратнозамкнутой. Как видно на схеме, первая обмотка соединена с нечетными пластинами коллектора. Если продолжить схему, то будет видно, что она замкнется на пластине 1. Вторая обмотка начнется с пластины коллектора 2 и будет соединяться только с четными пластинами.

Если yк и k не имеют общего делителя, то обмотка будет однократнозамкнутой. При обходе такой обмотки вначале будем попадать только в нечетные пластины коллектора, затем перейдем на четные, после чего обмотка замкнется на той же коллекторной пластине, с которой началась, т. е. на коллекторной пластине 1.

Упражнения. Составить практические схемы следующих сложно – петлевых обмоток:

1) z = 32, $2p$ = 4, uп = 2, m = 2; 2) z =36, $2p$ =4, uп = 3, m = 2; 3) z = 42, $2p$ =6, uп =3, m = 2.

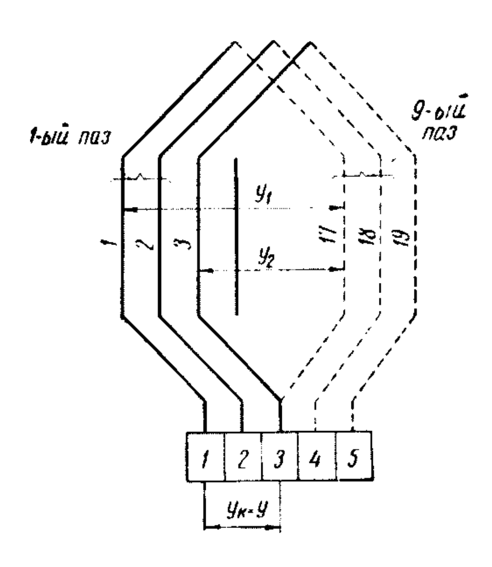


Рис. 128. Практическая схема сложно – петлевой обмотки.

§62. Простая волновая обмотка.

Характерная особенность волновой обмотки заключается в том, что выводные концы секций присоединяют не к соседним коллекторным пластинам, как в петлевой обмотке, а к двум коллекторным пластинам, расстояние между которыми равно двойному полюсному делению (рис. 129). В четырехполюсной машине эти пластины расположены на противоположных сторонах коллектора. Сделав обход окружности якоря в виде волн, следует попасть в коллекторную пластину, соседнюю с той, от которой начат обход якоря. Шаг волновой обмотки по коллектору определяют по формуле:

$$\text{ук} = \frac{\text{k} \pm 1}{\text{p}} \quad (26)$$

Шаг по коллектору должен выражаться целым числом. Поэтому в четырехполюсной машине (p = 2) число коллекторных пластин при волновой обмотке обязательно должно быть нечетным.

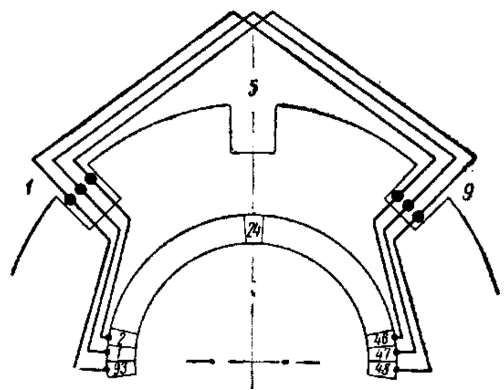


Рис. 129. Практическая схема простой волновой обмотки.

Волновая обмотка может быть правой или левой. В первом случае, обойдя якорь, приходят к коллекторной пластине, расположенной справа от первой, а во втором случае – к коллекторной пластине, расположенной слева от первой.

Чтобы получить правую обмотку, нужно в формуле (26), определяющей шаг по коллектору, взять в числителе знак +.В противоположность правой петлевой обмотке правая волновая обмотка получается с перекрещенными концами у коллектора, поэтому на практике ее избегают.

Предпочитают применять левую волновую обмотку, для которой шаг по коллектору выражается формулой:

$$ук = \frac{k-1}{p} \quad (27)$$

Первый и второй шаги волновой обмотки связаны формулой:

$$y1 + y2 = y = ук \quad (28)$$

Число параллельных ветвей волновой обмотки не зависит от числа полюсов машины и для простой волновой обмотки равно двум:

$$2a = 2 \quad (29)$$

В простой волновой обмотке могут быть установлены на коллекторе только две щетки на расстоянии полюсного деления друг от друга. Так, например, в четырехполюсной машине можно установить две щетки под углом 90° одна к другой. Возможность установки уменьшенного числа щеток объясняется тем, что щетка заданной полярности, стоящая на коллекторной пластине, соединена с остальными пластинами соответствующих нейтральных зон через секции, в которых э. д. с. практически не наводятся.
Машины с уменьшенным числом щеток применяют только в тех случаях, когда доступ к коллектору затруднен. Например, в некоторых трамвайных двигателях ставят на коллекторе только две щетки, доступ к которым осуществляют через люк в дне вагона. Обычно же число щеток по окружности коллектора берут равным числу полюсов, уменьшая тем самым ток, проходящий через каждую щетку, а следовательно, ее размеры и длину коллектора.
Составим практическую торцовую схему простой волновой обмотки со следующими данными: z = 31, $2p$ = 4, uп = 3. Рассчитаем шаги обмотки:

$$yz = z/2p = 31/4 = 7{,}75;\ \text{принимаем } yz = 8$$

$$k = u\text{п}z = 3 \times 31 = 93, \qquad ук = \frac{k-1}{p} = 93 - 1 = 46$$

$$y1 = yzu\text{п} = 8 \times 3 = 24, \qquad y2 = ук - y1 = 46 - 24 = 22$$

На рис. 129 показана практическая торцовая схема обмотки с данными, приведенными в примере. Она является более наглядной, чем схема – развертка. На схеме показана только первая катушка, поэтому шаг $y2$, которым соединяются секции первой и второй катушек, не виден. На этой схеме с коллекторной пластиной 1 соединен не крайний верхний провод паза 1, а средний. Кроме того, на схеме показаны паз 5 и коллекторная пластина 24, которые с секциями первой катушки не соединены. Все это будет объяснено в §70.
Как видно из формул (26) и (27), волновая обмотка может быть выполнена не при всяком числе пластин коллектора k. Шаг по коллектору yк обязательно должен быть целым числом, поэтому числители этих формул должны без остатка делиться на знаменатель. С другой стороны, число коллекторных пластин должно быть равно произведению числа пазов z на число секций в катушке uп. Таким образом, шаг по коллектору зависит от числа секций в катушке uп и числа пар полюсов p.
В симметричной волновой обмотке число секций в катушке uп и число пар полюсов p не должны иметь общего делителя, большего единицы.

Например, в обмотке с uп = 3 и p = 3 шаг по коллектору: yк = z × 3 ± 1 / 3. Легко убедиться, что какое бы число пазов z мы не подставляли в эту формулу, шаг по коллектору yк не будет целым числом.
Упражнения. Составить практические схемы простых волновых обмоток:

1) z = 41, 2p = 4, uп = 3; 2) z =49, 2p = 6, uп = 4; 3) z = 63, 2p = 8, uп = 3.

§63. Таблицы якорных обмоток.

Иногда приходится обматывать якорь, для которого нет готовой схемы. Вычерчивание схемы занимает много времени и требует наличия чертежных принадлежностей. Но можно обматывать якорь и без схемы, составив таблицу соединений.
Ниже показан на примере волновой обмотки порядок вычислений для составления таблицы. Составление таблицы особенно важно для волновой обмотки, так как на практической схеме (рис. 129) не видно, что будет после первого обхода якоря по схеме. Если в практическую схему вкралась ошибка, то вся обмотка будет неправильно выполнена. При помощи таблицы можно быстро проверить выполнимость обмотки. Рассмотрим составление таблицы для простой волновой обмотки со следующими данными: z = 27, 2p = 4, uп = 3. Число коллекторных пластин в такой обмотке: k = uпz = 3 × 27 = 81. Шаг по коллектору: yк = 81 – 1 = 40. Шаг по пазам: yz = 27 / 4 = 6,75; принимаем yz = 7. Первый шаг: y1 = 7 × 3 = 21. Второй шаг: y2 = 40 – 21 = 19.
Теперь есть все данные для составления таблицы. Для наглядности будем параллельно с вычислением таблицы рисовать схематическое изображение обмотки (рис. 130a). Так как катушка имеет три секции, то в каждом пазу будет шесть проводов (три верхних и три нижних). Они изображены в пазах шестью кружочками, расположенными в два слоя. Ниже пазов проведем две черты и между ними, квадратиками, будем обозначать коллекторные пластины. Расчет схемы и составление таблицы начинаем с провода 1, который лежит в верхнем слое первого паза крайним слева. Соединим его с коллекторной пластиной 1. Теперь нужно соединить этот провод с другим проводом обмотки со стороны, противоположной коллектору. Для этого следует к номеру провода прибавить первый шаг. Получим 1 + 21 = 22, т. е. провод 1 надо соединить с проводом 22. Но мы еще не знаем, в каком пазу лежит этот провод и какое место он в нем занимает. Для ответа на этот вопрос пронумеруем провода первого паза цифрами 1, 2, 3. Теперь нетрудно узнать, где будет расположен провод 22. Так как в пазу находятся три секции в каждом слое, то полученное число 22 надо разделить на 3. Получим 7 и 1 в остатке. Остаток показывает, что провод 22 лежит первым с левого края паза. Частное от деления 7 показывает шаг по пазам, т. е. что этот провод будет лежать в 1 + 7 = 8 пазу. Обмотка двухслойная, поэтому провод должен лежать в нижнем слое паза. Посмотрим, к какой коллекторной пластине он должен быть присоединен. Для этого к пластине 1 надо прибавить шаг по коллектору. Получим 1 + 40 = 41, т. е. провод присоединяется к 41 коллекторной пластине. Теперь нужно узнать, с каким проводом должен быть соединен провод 22. Для этого к номеру провода прибавим второй шаг и получим 22 + 19 = 41. Разделив 41 на 3, узнаем, что провод лежит в 1 + 13= 14 пазу и занимает второе место от края в верхнем слое. Мы видим, что провод 22, лежащий в 8 пазу слева, соединяется с проводом 41, лежащим в середине 14 паза. Это вполне возможно, так как провода 22 и 41 относятся к разным катушкам. К номеру провода 41 снова прибавим первый шаг и получим 41 + 21 = 62. Разделив 62 на 3, получим 20 и 2 в остатке. Это значит, что провод 62 лежит в 21 пазу и занимает второе место в нижнем слое, т. е. расположен в пазу симметрично проводу 41. Чтобы узнать, с какой коллекторной пластиной должен быть соединен провод 62, прибавим к номеру пластины 41 шаг по коллектору. Получим 41 + 40 = 81, т. е. мы пришли к коллекторной пластине, которая на коллекторе расположена рядом с пластиной 1, слева от нее. Это и требуется для простой левой волновой обмотки.

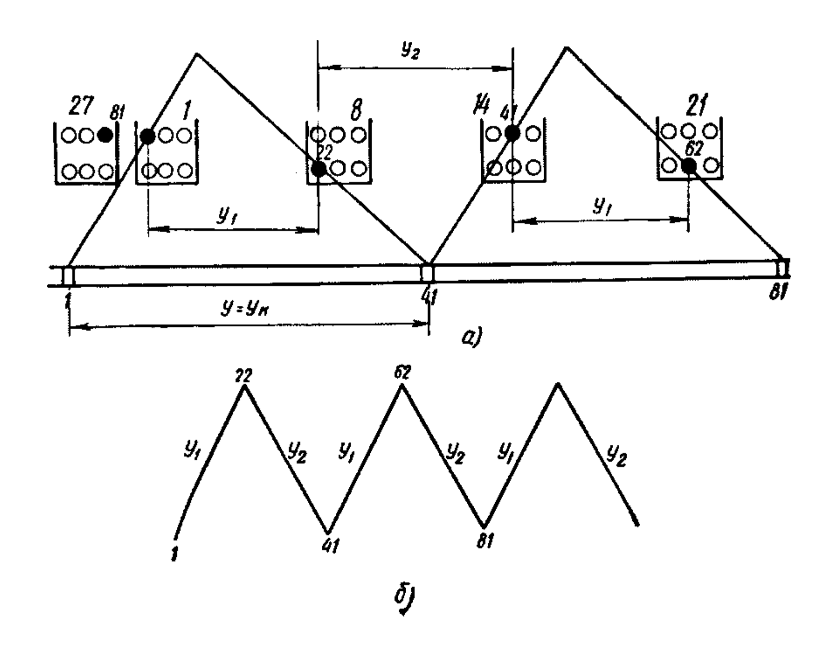


Рис. 130. Эскизы к составлению таблицы обмотки:
а – схематическое изображение обмотки, *б* – табличное изображение обмотки.

Для того чтобы закончить один обход схемы, прибавим к проводу 62 второй шаг и получим 62 + 19 = 81. Согласно тем же рассуждениям этот провод занимает третье место слева в верхнем слое 27 паза, который на якоре расположен рядом с пазом 1. Первый обход якоря показал, что шаги обмотки выбраны правильно. Если будем продолжать обходы якоря, то займем провода и коллекторные пластины, лежащие рядом с проводами и пластинами первого обхода. Если требуется удостовериться в том, что, обойдя всю обмотку, мы снова придем к проводу 1, можно рассчитать и построить упрощенную схему обмотки без изображения пазов и коллекторных пластин. Для этого нужно к проводу 1 прибавить первый шаг и т. д. Такую таблицу можно изобразить в виде зигзагообразной линии, показанной на рис. 130*б*. После обхода всех проводов мы должны обязательно снова прийти к проводу 1. Аналогичную схему можно построить и для петлевой обмотки.

Упражнения. Составить таблицы обмоток:

1) волновой z = 64, 2p = 6, uп = 4, 2) волновой z = 51, 2p = 8, uп = 3,
3) петлевой z = 32, 2p = 8, uп = 4

§64. Волновые обмотки с "мертвыми" секциями.

В волновых обмотках число коллекторных пластин должно удовлетворять следующим двум условиям: число коллекторных пластин по формуле (20) должно быть равно числу пазов, умноженному на число секций в катушках; шаг по коллектору по формуле (26) должен быть целым числом. На практике встречаются обмотки, при которых оба эти условия не могут быть выполнены. Разберем такой пример: число пазов z = 20, число секций в катушке uп = 1, число полюсов 2p = 4. По первому условию число коллекторных пластин должно быть k = 20 × 1 = 20. По второму условию для четырехполюсной машины число коллекторных пластин должно быть обязательно нечетным. Таким образом, приходится нарушить первое условие и взять коллектор с 19 пластинами. Тогда для одной секции не хватит места на коллекторе. Поэтому у одной секции отрезают выводы и не присоединяют их к коллектору. Такие секции называют "мертвыми", потому что они, хотя и лежат в пазах, но не соединены с остальными проводами обмотки и ток в них не протекает.
Схема волновой обмотки с мертвой секцией показана на рис. 131*а*, где мертвые провода обозначены жирными линиями.

Обычно мертвые провода располагают на якоре так, чтобы верхний провод лежал в последнем пазу якоря, а нижний отстоял от него на величину шага обмотки. Мертвые провода могут быть только в волновых обмотках. В петлевых обмотках число коллекторных пластин не связано двумя указанными условиями и мертвых проводов в них не бывает.
Мертвые провода нарушают симметрию в обмотке и вызывают искрение под щетками. На эти провода бесполезно затрачивается медь, но оставлять места мертвых проводов пустыми или заполнять их легкими изоляционными материалами нельзя, так как при этом сместится центр тяжести якоря и его трудно будет сбалансировать.
Уменьшить число коллекторных пластин на одну легко при изготовлении новой машины на заводе. Но часто приходится применять волновую обмотку, имея готовый якорь с коллектором. В таком случае поступают следующим образом (рис. 131*б*). Вместо того чтобы делать мертвую секцию, лежащую в пазах 4 и 20, соединяют ее верхний провод с верхним же проводом паза 14, а нижний провод – с верхним проводом паза 19. Это соединение, показанное горизонтальной жирной линией, выполняют проводом, огибающим лобовые части обмотки якоря.
Теперь на якоре использованы все 20 катушек, а на коллекторе – все 20 пластин. Таким образом, не пришлось переделывать коллектор и обмотка получилась без мертвой секции.
Обмотка, схема которой показана на рис. 131*б*, называется *искусственно – замкнутой*.

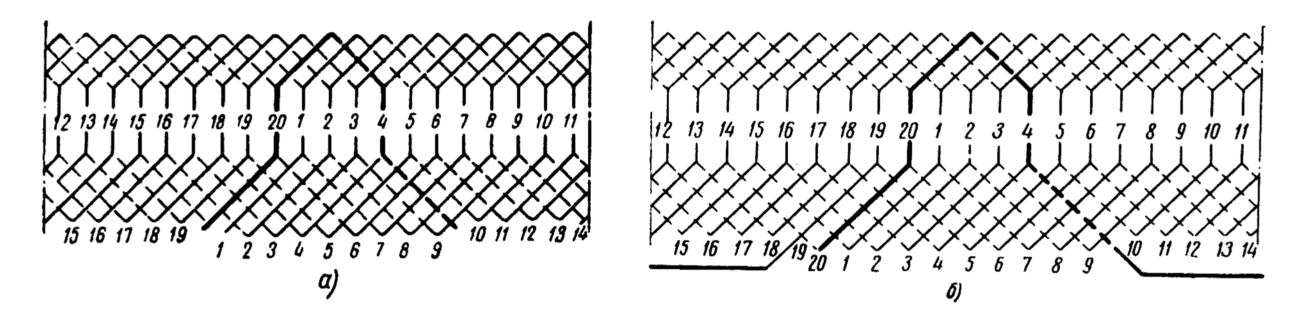


Рис. 131. Схемы несимметричных волновых обмоток:
а – обмотка с мертвой секцией, *б* – искусственно – замкнутая обмотка.

§65. Сложно – волновая обмотка.

Сложно–волновая обмотка представляет собой несколько волновых обмоток, уложенных в пазы одного якоря. Число параллельных ветвей двукратной волновой обмотки будет в два раза больше числа параллельных ветвей простой волновой обмотки. Поэтому при любом числе полюсов число параллельных ветвей равно четырем: $2a = 4$.
Сделав полный обход якоря, следует прийти к коллекторной пластине, лежащей не рядом с первой, а не доходя до нее на одну пластину. Чтобы выполнить это условие, шаг по коллектору двукратной левой волновой обмотки должен быть:

$$yк = \frac{k-1}{p} \quad (30)$$

Если число пар параллельных ветвей и шаг по коллектору не имеют общего делителя, то обмотка будет однократно – замкнутая. Это значит, что, начав обход с пластины 1, снова приходят к ней, обойдя все провода обмотки. Если же число пар параллельных ветвей обмотки и шаг по коллектору имеют общий делитель, то сложно – волновая обмотка будет состоять из двух самостоятельных обмоток, как бы вложенных одна в другую и соединяющихся между собой через щетки.

Сложно – волновые обмотки применяют в сочетании с петлевыми в лягушечьих обмотках (см. §68).
Дана сложно – волновая обмотка: z = 58, $2p$ = 8, uп = 3, m = 2. Число пластин коллектора по формуле (20): k = 3 × 58 = 174. Шаг по коллектору по формуле (30): yк = 174 – 2 / 4 =43. Число параллельных ветвей $2a$ = 4.
Число пар параллельных ветвей и шаг по коллектору не имеют общего делителя, следовательно, обмотка однократнозамкнутая.
Упражнение. Рассчитать сложно – волновую обмотку со следующими данными: z = 76, $2p$ = 6, uп = 2, m = 2 и определить, будет ли она однократно – или двухкратнозамкнутой.

§66. Уравнительные соединения.

В петлевых обмотках каждая параллельная ветвь обмотки расположена под парой соседних полюсов. Поэтому неравенство потоков отдельных пар полюсов вызывает неравенство э. д. с. отдельных параллельных ветвей обмотки. Неравенство потоков может быть вызвано или неравномерностью зазоров между якорем и полюсами, или наличием раковин в отливках магнитных станин. Это вызывает уравнительные токи между отдельными параллельными ветвями, проходящие через щетки и шины, соединяющие щетки одинаковой полярности.
Ввиду того что сопротивление этой цепи ничтожно, даже небольшая разница э. д. с. приводит к большим уравнительным токам, которые нагружают щетки и вызывают искрение на коллекторе. Для борьбы с уравнительными токами обмотку снабжают уравнительными соединениями. Их выполняют из медных проводов, которые соединяют коллекторные пластины, лежащие под щетками одинаковой полярности. При наличии уравнительных соединений уравнительный ток не будет проходить через щетки. Но уравнительные соединения служат не только для разгрузки щеток. Протекающий по ним ток создает магнитное поле, которое усиливает магнитный поток машины в тех местах, где он ослаблен, и уменьшает магнитный поток там, где он усилен. Таким образом, уравнительные соединения устраняют саму причину, вызывающую уравнительные токи.
Уравнительные соединения чаще всего помещают под лобовыми частями обмотки и вкладывают их в прорези коллекторных пластин перед укладкой катушек обмотки. В машинах средней мощности уравнительные соединения ставят не во все коллекторные пластины. Считается достаточным, если одно уравнительное соединение приходится на паз якоря, а число уравнительных соединений равно числу пазов. Поперечное сечение провода для уравнительных соединений берут от ⅕ до ⅓ сечения провода обмотки.
Шаг уравнительных соединений равен числу коллекторных пластин, разделенному на число пар параллельных ветвей:

$$y\text{ур} = \frac{k}{a} \quad (31)$$

Шаг уравнительных соединений должен выражаться целым числом, поэтому необходимо, чтобы в машинах с уравнительными соединениями число пластин коллектора делилось без остатка на число пар параллельных ветвей. Определим шаг и число уравнительных соединений петлевой обмотки якоря со следующими данными:
z = 54; $2p$ = 6; uп = 3; k = 54 × 3 = 162.
Шаг уравнительных соединений: yур = k / a = 162 / 3 = 54, т. е. 1 – 55.
Число коллекторных пластин, соединяемых одним уравнительным соединением, равно числу пар полюсов, т. е. трем. Если Уравнительные соединения будут поставлены через две коллекторные пластины, то всего на якорь потребуется 162 × 9 = 18 уравнительных соединений.

Расстановка их может быть выражена следующей таблицей, указывающей номера коллекторных пластин, к которым присоединяется уравнительное соединение:

1 уравнительное соединение 1 – 55 – 109 – 1;
2 уравнительное соединение 4 – 58 – 112 – 4;
3 уравнительное соединение 7 – 61 – 115 – 7;
4 уравнительное соединение 10 – 64 – 118 – 10;
5 е уравнительное соединение 13 – 67 – 121 – 13 и т. д.

Уравнительные соединения конструктивно выполняют двух видов: в виде колец и в виде вилок. В первом случае каждое уравнительное соединение будет представлять собой кольцо из провода с тремя симметрично расположенными отпайками, присоединяемыми к коллекторным пластинам 1 – 55 – 109 и т. д. Во втором случае каждое уравнительное соединение будет состоять из трех вилок. Первая вилка соединяет пластины 1 и 55, вторая – 55 и 109, третья вилка – 109 и 1

В четырехполюсной машине каждое уравнительное соединение должно замыкать две противоположные точки обмотки, отстоящие одна от другой на двойное полюсное деление. Такие соединения удобнее делать в виде вилок, которые припаивают или к хомутикам секции, или к пластинам коллектора. При большом числе полюсов каждое уравнительное соединение должно состоять из нескольких вилок, число которых равно числу пар полюсов. Чтобы облегчить выполнение уравнительных соединений в многополюсных машинах, их делают в виде колец с числом отпаек, равным числу пар полюсов. Уравнительные соединения выполняют из обмоточной меди или из голых медных шин и изолируют так же, как и секции обмотки.

Простые волновые обмотки не требуют уравнительных соединений, так как провода каждой параллельной ветви располагаются под всеми полюсами. Поэтому неравенство потоков отдельных полюсов машины в одинаковой степени скажется на всех параллельных ветвях, и э. д. с. в них будут равны.

Для сложно – волновых обмоток необходимы уравнительные соединения. Соседние коллекторные пластины принадлежат разным простым волновым обмоткам. Если переходные сопротивления между щетками и коллекторными пластинами, принадлежащими разным обмоткам, будут не равны, то и токи в отдельных волновых обмотках также будут распределяться обратно пропорционально сопротивлениям.

Неравномерное распределение тока между отдельными волновыми обмотками повлечет за собой неравные падения напряжения, вследствие чего напряжения между соседними коллекторными пластинами могут сильно увеличиться. Чтобы избежать повышения напряжения между соседними пластинами и выровнять его, необходимо простые волновые обмотки, составляющие сложно – волновую обмотку, связать между собой уравнительными соединениями. На рис. 132*а* показана часть схемы сложно – волновой обмотки со следующими данными: $2p = 8$; $z = 78$; uп = 3, $k = 78 \times 3 = 234$.

Определим шаг по коллектору и шаг уравнительных соединений:

$$y_к = 234 - 2 / 4 = 58, y_{ур} = 234 / 2 = 117$$

Между пластинами 1 и 3 включены последовательно четыре секции. Чтобы коллекторная пластина 2 делила напряжение между ними пополам, ее необходимо соединить с коллекторной пластиной 119, которая принадлежит другой обмотке и находится посередине между пластинами 1 и 3 на противоположной точке схемы. При нечетном числе пар полюсов уравнительным соединением соединяют точки схемы, находящиеся на противоположных торцах якоря, и соединение проходит вдоль якоря, как показано на схеме шестиполюсной обмотки (рис. 132*б*). Число уравнителей в сложно–волновой обмотке берется около двух на полюс.

В сложно – петлевой обмотке, состоящей из двух простых петлевых обмоток, для устранения возникновения уравнительных токов вследствие неравенства магнитных потоков отдельных полюсов каждая из петлевых обмоток должна быть выполнена с уравнительными соединениями.

Шаг уравнительных соединений:

$$y\text{ур} = \frac{k}{p} \quad (32)$$

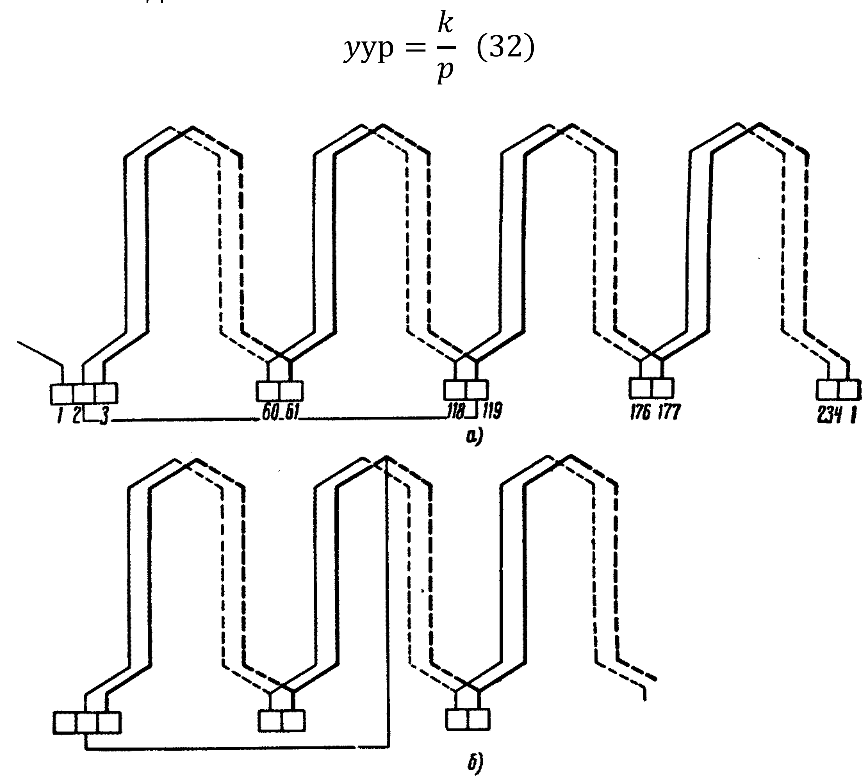


Рис. 132. Уравнительные соединения в сложно – волновых обмотках:
а – при четном числе пар полюсов, *б* – при нечетном числе пар полюсов.

Уравнительные соединения для одной обмотки выполняют со стороны коллектора, для другой – со стороны, противоположной коллектору. Кроме того, для равномерного распределения напряжений между соседними коллекторными пластинами обе петлевые обмотки должны быть связаны между собой уравнительными соединениями. Эти соединения протягивают с одной стороны якоря на другую. Их укладывают в промежутках между ребрами якорной втулки или через осевые каналы якоря. На рис. 133 изображена часть схемы сложно – петлевой обмотки с уравнительными соединениями. Данные этой обмотки: $2p = 4$; $z = 20$; $k = 20$, число параллельных ветвей $2a = 8$. На схеме провода, которые принадлежат двум петлевым обмоткам, составляющим сложно – петлевую обмотку, изображены тонкой и толстой линиями. Уравнительные соединения (на схеме A, B, C и D) расположены с обеих сторон якоря. Шаг уравнительных соединений согласно формуле (32):
$y\text{ур} = k / p = 20 / 2 = 10$. Уравнительные соединения между обмотками обозначены линиями *ab* и *cd*, переходящими с одной стороны якоря на другую (с левой стороны схемы).

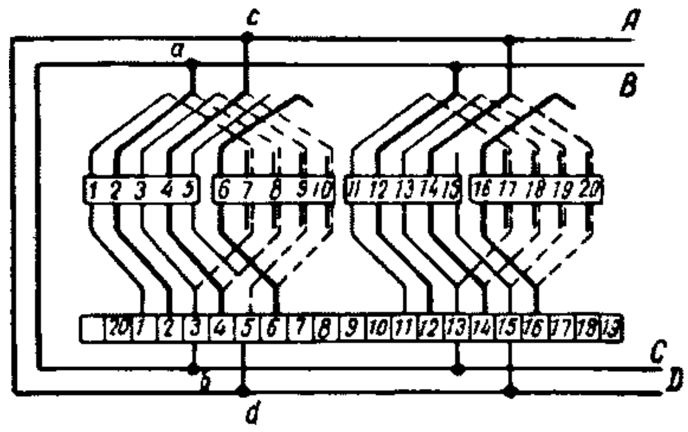


Рис. 133. Уравнительные соединения в сложно – петлевой обмотке.

Из схемы видно, что уравнительное соединение *ab* соединяет середину секции, состоящей из проводов 2 и 8, с коллекторной пластиной 3, принадлежащей второй петлевой обмотке. Благодаря такому соединению напряжение между пластинами 2 и 4 делится коллекторной пластиной 3 пополам. Напряжение между коллекторными пластинами 2 и 3 и пластинами 3 и 4 равно напряжению одного провода.

Упражнения. Составить таблицы уравнительных соединений для следующих обмоток:
1) простой петлевой $z = 64$, $2p = 4$, uп = 3; 2) простой петлевой $z = 78$, $2p = 6$, uп =4;
3) сложно–волновой $z = 58$, $2p = 8$, uп = 3; $m = 2$;
4) сложно–петлевой $z = 42$, $2p = 6$, uп = 3, $m = 2$.

§67. Ступенчатые обмотки.

В §59 было сказано, что для получения равносекционных обмоток необходимо, чтобы первый шаг обмотки удовлетворял формуле (21).

При расчете таблицы обмотки якоря (см. рис. 130) было установлено, что шаг y_1, соединяет секции со стороны якоря, противоположной коллектору. Чтобы все секции данной катушки изолировать общей лентой, надо иметь секции одинаковой ширины, которые кладутся в одни и те же пазы якоря. Поэтому в равносекционных обмотках шагом $y1$ всегда соединяют симметрично расположенные в пазах провода, например 1 и 22 или 41 и 62 (см. рис. 130). Это требование не распространяется на шаг $y2$, так как он осуществляется выводными проводами катушек. Поэтому провода 22 и 41 или 62 и 1 расположены в пазах несимметрично. Равносекционные или равнокатушечные обмотки, будучи более удобными для производства, имеют недостатки в отношении коммутации машины. Если в пазу расположены рядом стороны многих секций, то при изменении направления тока в проводе в момент замыкания секции накоротко щеткой на коллекторе в этой секции наводятся значительные э. д. с. взаимоиндукции соседними секциями. При этом возникает искрение на коллекторе под щетками, что ускоряет износ как щеток, так и пластин коллектора.

Для уменьшения э. д. с. взаимоиндукции в крупных машинах со многими секциями в пазу стремятся отвести секции, соседние с коммутируемой секцией, в другой паз. Очевидно, этого можно достичь, искусственно увеличив шаг $y1$.

Возьмем обмотку, схема которой показана на рис. 127, и изменим у нее шаг $y1$, взяв $y1 = 53$, вместо $y1 = y\text{z} \times u\text{п} = 52$. Соответственно увеличится и шаг $y2$, $y2 = 53 - 1 = 52$.

На рис. 134 изображена практическая схема этой обмотки. а в ней мы видим, что из четырех проводов, выходящих из паза 1, три попали в паз 14, а четвертый отделился от них и попал в паз 15. Таким образом, при коммутации в любой секции паза 1 наводится э. д. с. взаимоиндукции не тремя другими, а только двумя соседними секциями. Поэтому искрение на коллекторе слабее. Такие обмотки называют ступенчатыми, потому что нижние провода одной катушки сдвинуты по пазам по сравнению с равнокатушечной обмоткой.

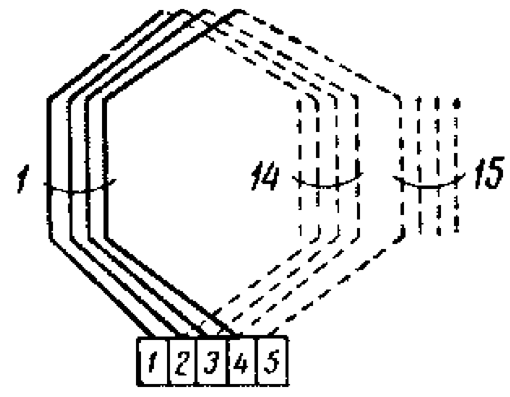


Рис. 134. Практическая схема ступенчатой обмотки.

Ступенчатые обмотки имеют особую технологию изготовления. Как видно на схеме (рис. 134), только три секции катушки можно гнуть на одном шаблоне, а четвертая имеет другие размеры. Теперь уже нельзя все четыре нижних провода катушки изолировать общей лентой; нужно их изолировать отдельно. В связи с таким усложнением изготовления ступенчатых обмоток их обычно выполняют не из целых катушек, а из полукатушек. Такие обмотки называют разрезными (см. рис. 37*б*).
Разрезные обмотки также имеют недостатки. Так, со стороны якоря, противоположной коллектору, нужно все провода попарно спаять между собой и места пайки изолировать, на что уходит много времени и расходуются дополнительные материалы. Для машин с нагревостойкой изоляцией пайка мягкими припоями недопустима и приходится паять соединения проводов твердыми припоями при тесном расположении проводов, что затрудняет паяние.
В последнее время ступенчатые обмотки начали изготовлять из целых несимметричных катушек, у которых одна сторона имеет общую изоляцию всех проводов, а другая выполнена ступенчатой и ее провода вкладывают в два соседних паза. На рис. 135 показана такая катушка завода "Электротяжмаш". При укладке таких катушек в пазы удалось избежать сложной операции паяния соединений между проводами со стороны якоря, противоположной коллектору.

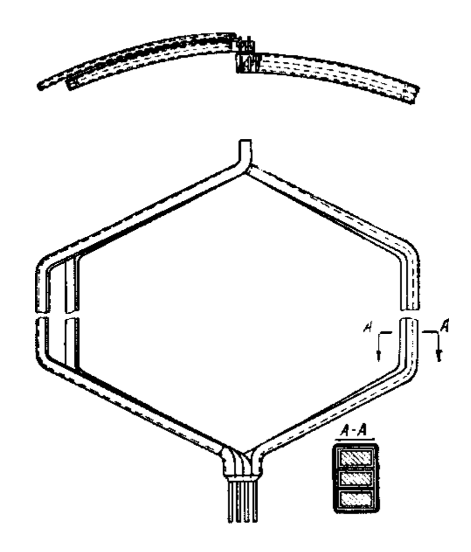


Рис. 135. Катушка ступенчатой обмотки.

Этой катушке присуща еще одна очень важная особенность. Известно, что в обмотках статора машин переменного тока широкую сторону проводов всегда обращают к дну паза. Это позволяет значительно снизить дополнительные потери в проводах. Наоборот, в якорях машин постоянного тока провода всегда располагают ребром к дну паза. Для снижения потерь приходится разделять провода по высоте паза на два параллельных провода (см. рис. 40), что вызывает дополнительные трудности при гибке и изолировке катушек. На рис. 135 широкая сторона проводов обращена к дну паза. Благодаря этому значительно снижаются потери в сечении проводов и упрощается гибка и изолировка катушек. Для вкладывания в петушки коллектора выводные концы катушек прессуют. При этом сечение провода деформируется, уменьшаясь по ширине и увеличиваясь по высоте. Эту операцию сопровождают отжигом медных проводов, чтобы на них не появлялись трещины.
Этот пример показывает, что некоторые положения, в течение многих лет считавшиеся непреложными, могут быть изменены при совместной работе конструкторов, технологов и рабочих – рационализаторов электромашиностроительных заводов.

§68. "Лягушачьи" обмотки".

Катушка лягушечьей обмотки (рис. 136) по форме несколько напоминает лягушку. Лягушечью обмотку можно рассматривать как параллельное соединение двух обмоток, петлевой и сложно – волновой, уложенных в пазы якоря и присоединенных к одному коллектору. Ее применяют в машинах с большим током якоря.

В лягушечьей обмотке число проводов петлевой и волновой обмоток, а также числа параллельных ветвей обмоток берут одинаковыми:

$$2ап = 2ав \quad (33)$$

где: 2*а*п – число параллельных ветвей петлевой обмотки; 2*а*в – число параллельных ветвей волновой обмотки.

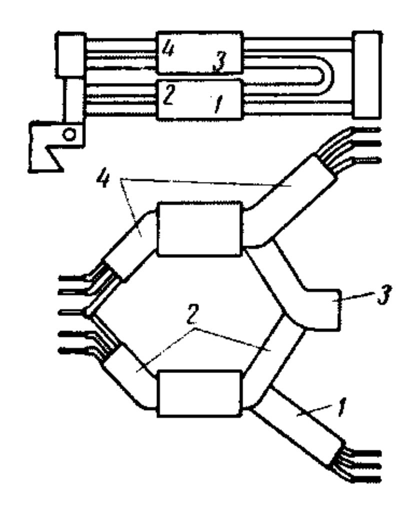


Рис. 136. Катушка лягушечьей обмотки.

Таким образом, число параллельных ветвей лягушечьей обмотки в два раза больше числа параллельных ветвей петлевой обмотки. Другое преимущество лягушечьей обмотки перед петлевой заключается в том, что она не требует применения уравнительных единений, так как провода одной из обмоток одновременно служат соединениями для другой обмотки.

Наиболее распространенным является выполнение лягушечьей обмотки, при котором катушки петлевой обмотки изготовляют целыми, а катушки волновой обмотки – разрезными (рис. 136).

При укладке в пазы лягушечья обмотка образует четыре слоя. В пазах обе обмотки располагают следующим образом: слои 1 и 4 занимают провода волновой обмотки, а слои 2 и 3 – провода петлевой обмотки. Таким образом, секции волновой обмотки на лобовых частях охватывают секции петлевой обмотки.

Если петлевая и волновая обмотки имеют одинаковый шаг по пазам, то обе катушки могут иметь общую изоляцию и представляют собой как бы одну катушку с четырьмя выводами. Выводы к коллектору петлевой и волновой обмоток должны быть разделены, потому что, выходя из паза, они идут в разных направлениях. Шаг лягушечьей обмотки по пазам определяют так же, как и для других обмоток, по формуле (2). Так как обе обмотки соединяются параллельно, они должны иметь одинаковое число параллельных ветвей. Таким образом, можно установить, какую волновую обмотку нужно применить в лягушечьей обмотке.

Возьмем для примера четырехполюсную машину. Простая петлевая обмотка такой машины имеет число параллельных ветвей, равное числу полюсов, т. е. четыре параллельные ветви. Такое же число параллельных ветвей должна иметь и сложно – волновая обмотка. Четыре параллельные ветви имеет двукратная волновая обмотка.

Следовательно, лягушечья обмотка четырехполюсной машины состоит из простой петлевой обмотки и двукратной сложно–волновой обмотки, у которой шаг по коллектору выражается формулой (30). Так как секции петлевой и волновой обмоток присоединяют к одним и тем же коллекторным пластинам, необходимо иметь определенные соотношения между шагами обмоток, чтобы не возникали уравнительные токи. Существуют две схемы соединения петлевых и волновых секций лягушечьих обмоток.

Согласно первой схеме (рис. 137*а*) две секции А и В исходной петлевой обмотки располагают одну от другой на расстоянии двойного полюсного деления. Таким образом, между любыми двумя точками секций разность потенциалов равна нулю и секции могут быть соединены уравнительными проводами d_1 которые на рисунке показаны штриховыми линиями.

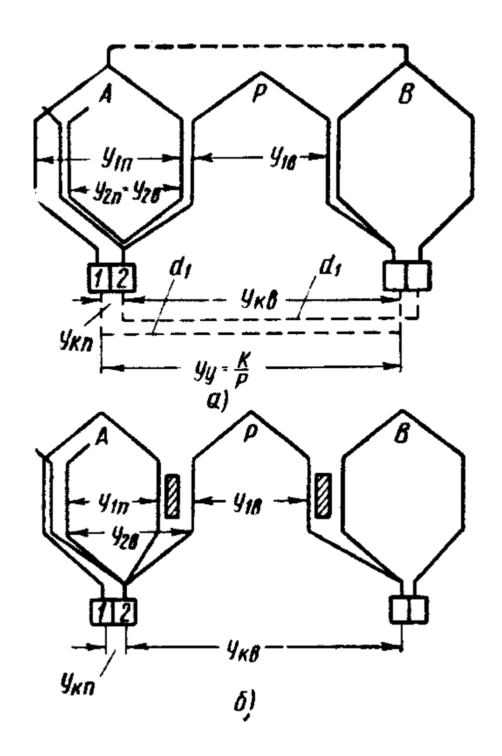


Рис. 137. Схемы построения лягушачьей обмотки: *а*, *б* – варианты схемы.

Секция волновой обмотки Р образуется соединением конца секции А с началом секции В через провода, расположенные рядом с близлежащими сторонами секций А и В. В любом замкнутом контуре, образованном секцией волновой обмотки и любым из указанных выше уравнительных проводов, сумма э. д. с. равна нулю. Следовательно, введение секции волновой обмотки не нарушает равновесия э. д. с. в петлевой обмотке.

Соотношения между шагами петлевых и волновых секций в лягушечьей обмотке выражают уравнениями:

$$y1п + y1в = \frac{k}{p} \quad (34)$$

$$yкп = yкв = \frac{k}{p} \quad (35)$$

$$y2п = y2в \quad (36)$$

где: $y1п$ – первый шаг петлевой обмотки, $y1в$ – первый шаг волновой обмотки,
$y2п$ – второй шаг петлевой обмотки, $y2в$ – второй шаг волновой обмотки,
$yкп$ – шаг по коллектору петлевой обмотки, $yкв$ – шаг по коллектору волновой обмотки.

Для получения второй схемы сначала строят схему лягушечьей обмотки по рис. 137*а*, выбирая для исходной петлевой обмотки диаметральный шаг. Затем правые стороны петлевых и волновых обмоток переносят в соседние пазы (рис. 137*б*). В результате вместо диаметральных секций во второй схеме получают хордовые секции. Петлевые и волновые секции будут одинаковой ширины:

$$у1п = у1в \quad (37)$$

Во второй схеме сумма э. д. с. петлевых и волновых секций в любом замыкающемся контуре также равна нулю. В обмотках по второй схеме необходимо иметь целое число пазов на полюс. Рассмотрим развернутую схему лягушечьей обмотки со следующими данными (рис. 138): $2p$ = 4; z = 22; uп = 4; k = 22. Каждая из обмоток имеет по четыре параллельные ветви шаги обмотки выбраны следующие: для петлевой обмотки шаг по коллектору yкп = 1,
первый шаг y1п = k – 2 / 2p = 22 – 4 = 5. Для сложно – волновой обмотки: шаг по коллектору yкв = k – 2 / 2p = 22 – 2 = 10, первый шаг yв = 6, второй шаг y2в = 10 – 6 = 4.
Таким образом, шаги по пазам петлевой и волновой обмоток здесь разные. Каждая катушка в этой схеме состоит из одной секции, и первые шаги выражают и шаги по пазам. Следовательно, петлевая обмотка имеет шаг по пазам yz = 5, т. е. из 1 паза в 6 а волновая обмотка имеет шаг по пазам yz = 6, т. е. из 1 паза в 7. В этом случае катушка не может иметь общей изоляции по всему контуру. Изолировать вместе можно провода, лежащие на дне паза. Провода верхней стороны этой катушки, принадлежащие петлевой и волновой обмоткам, будут лежать в разных пазах и поэтому должны быть изолированы отдельно.

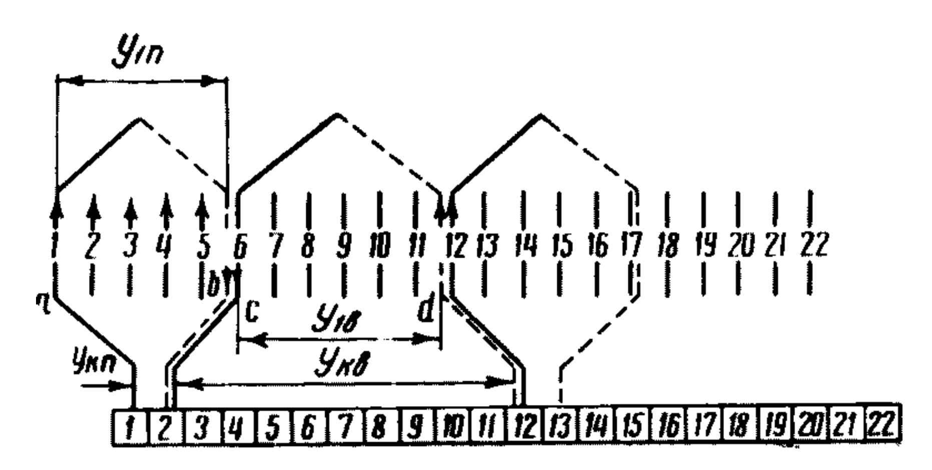


Рис. 138. Схема лягушечьей обмотки.

Чтобы секции обеих обмоток находились в равных магнитных условиях и э. д. с. в них уравновешивались, лягушечья обмотка должна удовлетворять следующим условиям:
Первый частичный шаг петлевой обмотки и первый частичный шаг волновой обмотки должны быть связаны формулой (34).
В данной обмотке это условие выполнено, так как 6 + 5 = 22 / 2 = 11.
2. Шаги по коллектору для обеих обмоток должны быть связаны равенством (35).
Как видно из технических данных обмотки, это условие в ней также выполнено:
1 + 10 =22 / 2 = 11.

§69. Симметрия обмоток.

Якорная обмотка должна быть симметричной. Это значит, что при всех положениях якоря относительно полюсов в параллельных ветвях обмотки должны наводиться одинаковые э. д. с. и сопротивления всех параллельных ветвей обмотки должны быть одинаковыми.

Для обеспечения электрической симметрии обмотка должна удовлетворять следующим условиям:

1. Так как обмотка является двухслойной, то провода каждого паза делятся на две равные части, лежащие в верхнем и нижнем слоях. Отсюда вытекает первое условие: *число секций в пазу должно быть четное*. Это условие не выполняется только для волновых обмоток с мертвыми секциями.
2. Всякая многополюсная обмотка может быть представлена состоящей из нескольких двухполюсных обмоток, причем число их равно числу пар параллельных ветвей обмотки. Поэтому *число коллекторных пластин должно делиться без остатка на число пар параллельных ветвей обмотки.*
3. По этим же соображениям *число пазов якоря должно делиться без остатка на число пар параллельных ветвей.*
4. Чтобы секциям одной пары параллельных ветвей соответствовали секции в других параллельных ветвях, находящихся в таких же магнитных условиях, *необходимо, чтобы число полюсов делилось без остатка на число пар параллельных ветвей.* Посмотрим, какие требования предъявляют с учетом этих условий к выполнению различных обмоток.

Для простой петлевой обмотки число пар параллельных ветвей равно числу пар полюсов. Поэтому четвертое условие для нее всегда выполняется. Второе и третье условия для этой обмотки могут быть выражены и иначе, если учесть, что число пар параллельных ветвей равно числу пар полюсов. Тогда для петлевой обмотки второе и третье условия можно выразить так: число коллекторных пластин и число пазов должны делиться без остатка на число пар полюсов. Если эти два условия выполнены, то обмотка будет симметрична.

В сложно – петлевых обмотках четвертое условие может быть выполнено только в том случае, если $a = 2p$, а это будет в обмотке, состоящей из двух простых петлевых обмоток. Второе и третье условия выполняются только при четном числе коллекторных пластин. Однако на практике применяют сложно–петлевые обмотки с нечетным числом коллекторных пластин, которые хотя и несимметричны, но работают вполне удовлетворительно.

В простой волновой обмотке число пар параллельных ветвей равно единице (две параллельные ветви). Поэтому она всегда удовлетворяет второму, третьему и четвертому условиям. Несимметричны только волновые обмотки с мертвыми секциями, тем не менее, их применяют на практике. Для сложно – волновой обмотки, состоящей из двух простых обмоток, должны выполняться все четыре условия симметрии.

§70. Разметка якоря под обмотку.

Провода катушечной обмотки якоря распределяются в пазах поровну. Поэтому достаточно правильно уложить в пазы и соединить с коллектором первую катушку, а остальные будут располагаться относительно нее симметрично. Практические схемы якорных обмоток представляют собой схемы укладки в пазы первой катушки и соединение ее с коллекторными пластинами.

Однако для того чтобы щетки совпали с положением нейтралей необходимо соблюдать условия геометрической симметрии обмотки. Это особенно важно для машин реверсивных или не имеющих поворотной траверсы щеткодержателей. Процесс разметки якоря под укладку обмотки заключается в перенесении схемы разметки на якорь. Разметку ведут от оси симметрии. Существует два способа разметки. При первом способе за ось симметрии принимают среднюю линию катушки, при втором – разметку ведут от первого паза.

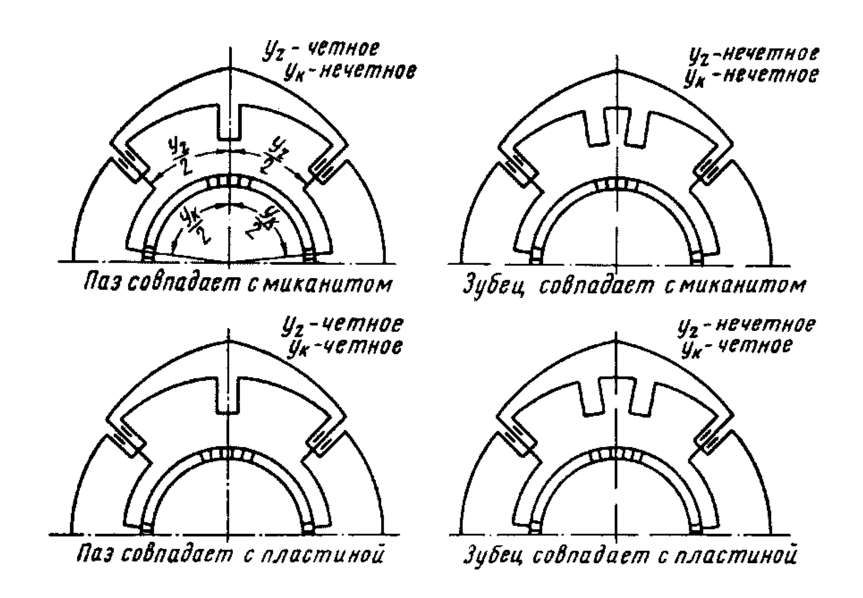


Рис. 139. Схемы разметки якоря с волновой обмоткой от середины секции.

На рис 139 показаны схемы разметки якоря по первому способу. Ось симметрии может проходить на якоре через паз или зубец, а на коллекторе – через пластину или миканитовую прокладку в зависимости от четности или нечетности шагов по пазам или коллектору.

На рисунке приведены все четыре возможных варианта положения оси симметрии. Ось симметрии на якоре находят посредством натянутой вдоль якоря нити, которую прикладывают в зависимости от схемы или к середине паза, или к середине зубца. Поворачивая якорь, находят ту пластину или миканитовую прокладку, которая более близко совпадает с осью симметрии. Для фиксирования оси симметрии при штамповке листов шпоночную канавку располагают по линии паза или зубца в зависимости от схемы. Шпоночную канавку во втулке коллектора долбят, окончив его сборку, по середине коллекторной пластины или миканитовой прокладки.

В качестве примера разметки якоря возьмем практическую схему, показанную на рис. 129. Это волновая обмотка с шагом по пазам 1 – 9. Ось симметрии первой катушки в данной схеме проходит через середину паза 5. При шаге по коллектору 1 – 47 ось симметрии проходит через середину 24 коллекторной пластины.

Хотя число коллекторных пластин кратно числу пазов, между пазами и пластинами возможны сдвиги в ту или иную сторону, так как медные пластины и миканитовые прокладки имеют допуски на толщину. При разметке якоря находят такой паз, который точнее других совпадает с коллекторной пластиной. Этому пазу присваивают номер 5, а пластине – 24. Отсчитывая от оси симметрии вправо и влево половину шага по пазам, находят пазы 1 и 9, а на коллекторе – пластины 1 и 47.

Чтобы катушка располагалась симметрично относительно оси, надо с пластинами 1 и 47 соединить средние провода катушки. Тогда первый провод верхней стороны катушки будет соединен с последней пластиной коллектора, имеющей номер 93, а второй вывод этой же секции – с пластиной 46. Третья секция катушки будет соединена с пластинами 2 и 48.

Если бы в катушке было четыре секции, то с пластиной 1 надо было бы соединить вывод второй секции, лежащей слева от середины паза 1. При шаге по пазам 1 – 10 ось симметрии на якоре проходила бы через середину зубца, который расположен между 5 и 6 пазами. При шаге по коллектору 1 – 48 ось симметрии на коллекторе проходила бы через миканитовую прокладку между пластинами 24 и 25.

Для разметки якоря пользуются специальным шаблоном, представляющим собой скобу, опирающуюся на шейки вала. Над коллектором и якорем на шаблоне укреплены передвижные стрелки, которые устанавливают по пазу или зубцу на якоре и по пластине или миканитовой прокладке на коллекторе.

Особенно точно надо находить ось симметрии на якорях машин, у которых нельзя сдвигать щетки по окружности коллектора. Для нанесения разметки на якоре делают крестообразные зарубки на зубцах, между которыми лежат пазы с первой катушкой (на рис. 129 это пазы 1 и 9). На торцах коллекторных пластин 93, 1, 2, 46, 47 и 48 кернером намечают точки.

Эта система разметки имеет некоторые недостатки. Шпоночная канавка в листах якоря должна быть расположена различно в зависимости от того, четный или нечетный шаг по пазам. Это исключает возможность применения данной системы разметки для различных обмоток, у которых используются одни и те же листы якоря. Кроме того, не обеспечивается выполнение условий симметрии обмотки при четном числе секций в катушке.

Эти недостатки не свойственны второму способу разметки. Разметку ведут не от оси симметрии, а от первого паза, в который вкладывают нижнюю сторону первой катушки. Таким образом, независимо от шага по пазам шпоночная канавка в листах якоря всегда располагается посередине паза. Этот способ применим для волновых и петлевых обмоток с четными и нечетными числами секций в катушке.

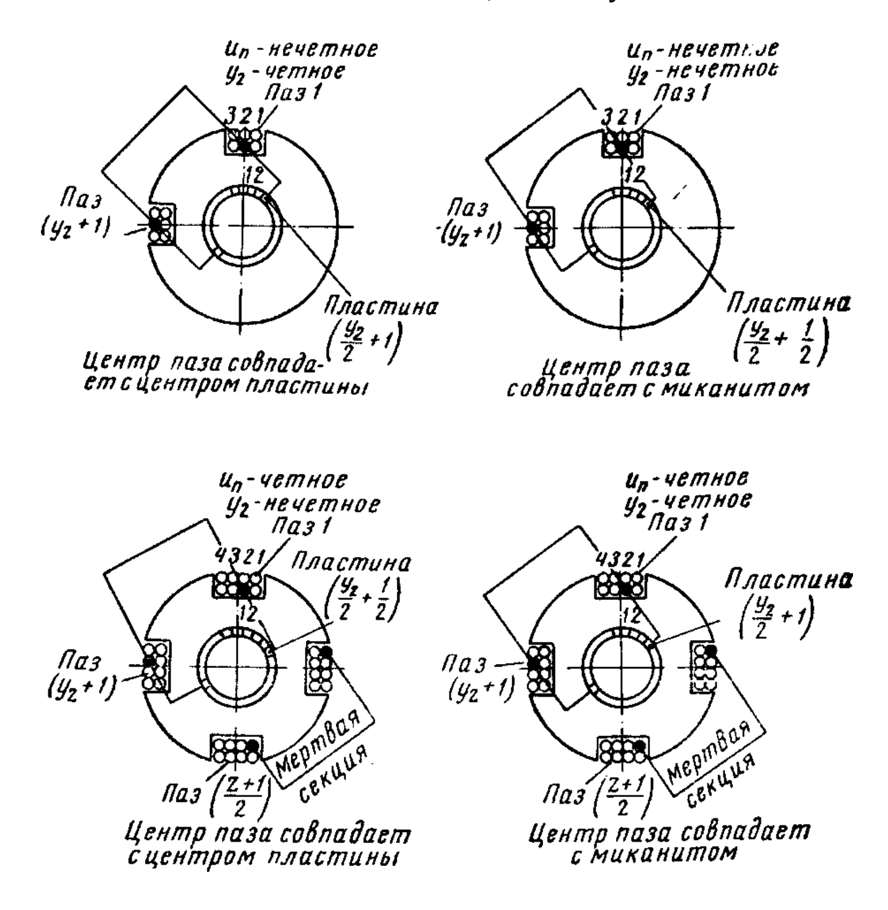


Рис. 140. Схемы разметки якоря с волновой обмоткой от первого паза.

На рис. 140 изображены схемы разметки якоря для левых волновых обмоток четырехполюсной машины с четным и нечетным числом секций в катушке. Совпадение паза с коллекторной пластиной или миканитовой прокладкой зависит от четности или нечетности числа секций в катушке и шага $y2$ обмотки. Для волновой обмотки:

$$y2 = yк - y2$$

где: $y1$ – первый шаг, равный $yzuп$, $y2$ – второй шаг, $yк$ – шаг по коллектору, yz – шаг по пазам, $uп$ – число секций в катушке. Как видно на схемах, нумерация пазов ведется против часовой стрелки, а коллекторных пластин – по часовой стрелке. На этих схемах нумеруют не все провода паза, а только стороны секций.

Поэтому при многовитковых катушках провода паза, замыкающиеся в секции, не нумеруют. Для обмоток с мертвыми секциями щетки должны быть сдвинуты с геометрической нейтрали на $^{1}/_{8}$ коллекторного деления против часовой стрелки (если смотреть со стороны коллектора).
На рис. 141 показаны схемы разметки якоря для правых петлевых обмоток четырехполюсных машин, построенные по тому же способу. Пазы и коллекторные пластины в этих схемах нумеруют против часовой стрелки. Для петлевой обмотки:

$$y2 = y1 - yк$$

Все схемы разметки построены для нормальных обмоток, у которых выводные концы по выходе из паза выгибаются на половину полюсного деления, а в машинах с добавочными полюсами щетки на коллекторе установлены точно по линии главных полюсов. Разметка якорей микродвигателей коллекторных машин переменного тока изложена в §76.

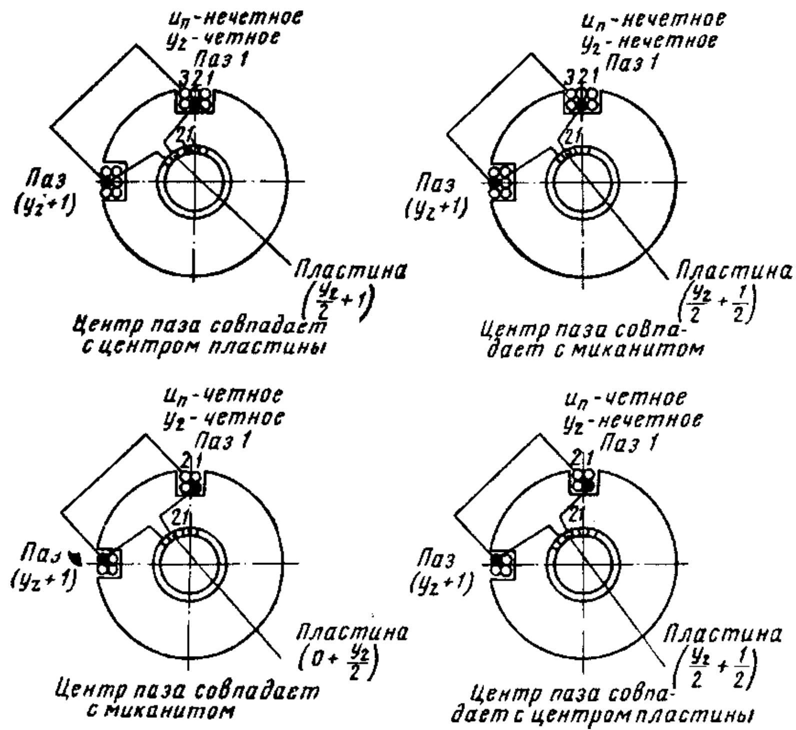


Рис. 141. Схемы разметки якоря с петлевой обмоткой.

Упражнения. Составить схемы разметки простых волновых обмоток со следующими данными: 1) $z = 35$, $2p = 4$, $k = 105$, $yz = 8$; 2) $z = 41$, $2p = 4$, $k = 123$, $yz = 10$;
3) $z = 25$, $2p = 4$, $k = 125$, $yz = 7$.

§71. Устройство коллекторов.

В процессе укладки обмотки в пазы выводные концы ее вставляют в петушки коллекторных пластин и запаивают. Поэтому, прежде чем говорить об укладке обмотки в пазы, надо ознакомиться с устройством коллекторов. Коллектор представляет собой одну из наиболее сложных и ответственных частей машины постоянного тока. Сложность конструкции коллектора объясняется тем, что в процессе работы коллектор нагревается и его пластины расширяются. Кроме того, на них действуют большие центробежные силы, стремящиеся оторвать пластины от места их закрепления.
В электрических машинах применяют три основных конструкции коллекторов. Для микромашин и машин средней мощности широко используют коллекторы с пластмассовыми корпусами, для крупных машин – коллекторы со стальными конусами и для быстроходных машин – коллекторы с бандажными кольцами. На рис. 142 показана конструкция коллектора с пластмассовым корпусом.

Он состоит из медных пластин 5 клинообразного сечения с прокладками 4 между ними из специального коллекторного миканита. Пластины собирают в круг и прессуют в прессовочных кольцах под большим давлением. Для повышения механической прочности коллекторы армируют кольцами 3, согнутыми из стальной проволоки и сваренными. Чтобы стальные кольца не создавали замыканий между медными пластинами, коллекторные пластины и миканитовые прокладки штампуют разными штампами. У миканитовых прокладок размеры прямоугольной впадины меньше, чем у медных пластин на 1,5 – 2 мм. и поэтому они выступают из пластин, образуя гребенку. Эти выступы и защищают кольца от соединения с пластинами коллектора. Спрессованный коллектор вместе с прессующим кольцом вкладывают в пресс – форму, в которую вставлена втулка коллектора 1. В образованную между ними кольцевую щель под давлением впрессовывают пластмассу 2. Она заполняет все промежутки и прочно скрепляет пластины коллектора между собой и с втулкой. Пресс – форма имеет подогрев в виде спиралей, по которым пропускают электрический ток. При прессовке с одновременным подогревом пластмасса из порошкообразного состояния превращается в твердое, что обеспечивает высокую прочность коллектора. Коллекторы микромашин не собирают из отдельных пластин, а выдавливают для них кольцо с зубцами на внутренней окружности. При прессовке пластмасса затекает во впадины между зубцами. Кольца разделяют на отдельные пластины после запрессовки в пластмассу фрезерованием или обточкой наружной поверхности коллектора. Для коллекторов с пластмассовыми корпусами машин общего назначения используют асборезольную пластмассу К–6. Ее изготовляют на основе фенолформальдегидных смол с наполнителем из волокнистого асбеста. Эта пластмасса имеет достаточную механическую прочность и нагревостойкость при температуре до 200°С. К недостаткам ее можно отнести сравнительно невысокую электрическую прочность из–за наличия в асбестовом волокне железистых включений. В машинах с повышенным напряжением это может вызвать замыкание между пластинами: Пластмассу К–6 нельзя применять в качестве изоляции между пластинами в коллекторах с прессованными заготовками пластин вследствие ее малой текучести. Пластмассы типов АГ–4 марок В и С на основе специальной смолы с наполнителем из стекловолокна обладают значительно более высокими механическими и электрическими свойствами. Их применяют в крупных и высоковольтных машинах. Из пластмассы АГ–4С делают даже армировочные кольца, так как предел прочности ее на растяжение составляет 5000 кг/см^2, т. е. приближается к прочности стали.

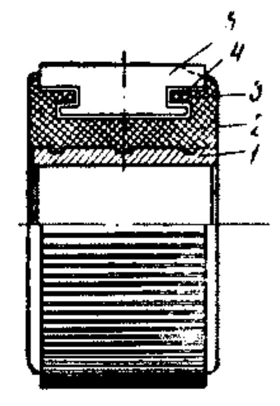



Рис. 142. Коллектор с пластмассовым корпусом.

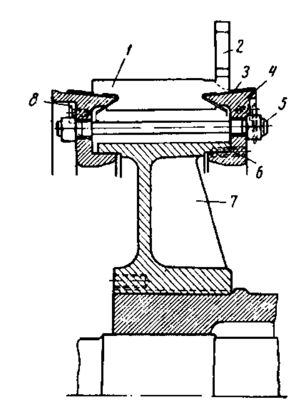


Рис. 143. Коллектор со стальными конусами.

Коллектор со стальными конусами (рис. 143) состоит из нескольких сотен медных пластин 1 с миканитовыми прокладками между ними. Ввиду того что в крупных машинах пластины коллектора далеко отстоят от пазов якоря, в каждую пластину коллектора впаяна полоска 2 из листовой меди для соединения с проводами обмотки якоря. Эти полоски называются петушками коллектора.

Пластины с миканитовыми прокладками несколько раз прессуют в кольцах с подогревом, чтобы добиться необходимой плотности кольца, составленного из меди и миканита. Затем в пластинах протачивают угловые канавки, в которые вставляют миканитовые манжеты 3, спрессованные из формовочного миканита. Они изолируют пластины от стальных нажимных конусов 4. Задний конус прикреплен к втулке 7 коллектора винтами 6, а передний может передвигаться по заточке, сделанной на втулке 7. Конусы стянуты между собой длинными шпильками 5 с навернутыми на них гайками. При нагревании коллектора пластины его удлиняются и передают давление на шпильки, которые при этом также вытягиваются. После охлаждения коллектора пластины и шпильки снова укорачиваются.
Таким образом, шпильки играют роль пружин, которые всегда держат пластины в зажатом состоянии. Если бы пластины были заперты на втулке, они при нагревании коробились бы и коллектор из цилиндра превратился бы в "бочку". Между тем к поверхности коллектора предъявляют весьма жесткие требования, согласно которым биение коллектора не должно превышать 0,04 мм.
Втулка 7 коллектора насажена не на вал, а на продолжение втулки якоря. Это сделано для того, чтобы прогиб вала не передавал деформаций на петушки коллектора. Кроме того, в случае аварии такая конструкция позволяет выпрессовать вал, не нарушая соединений петушков коллектора с проводами обмотки. В процессе производства коллектор подвергают разгону при повышенном числе оборотов. Чтобы избежать вибраций при вращении, коллектор балансируют прикреплением грузиков 8 с обоих его торцов. При изготовлении коллектора на наружной его поверхности оставляют припуск, который стачивают после обмотки якоря. На рис. 144 изображена конструкция коллектора с *бандажными кольцами*, применяемого для возбудителя турбогенератора.

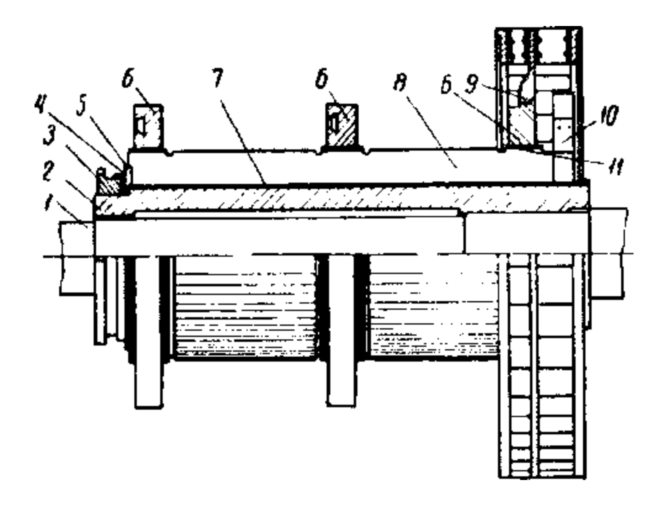


Рис. 144. Коллектор с бандажными кольцами.

Для таких коллекторов, вращающихся с окружной скоростью 50 м/сек. и выше, прочность нажимных конусов была бы недостаточной. Коллекторные пластины 8 этого коллектора прессуют с миканитовыми прокладками в прессовочных кольцах. Затем одно из колец снимают, коллектор насаживают на оправку и протачивают на сто поверхности три канавки. В эти канавки наматывают и впрессовывают миканитовые пояски 11. На них в горячем состоянии напрессовывают бандажные кольца 6.
Затем внутреннее отверстие в пластинах растачивают на конус. Втулку 2 коллектора также обтачивают на конус, обматывают миканитом 7 и прессуют в пресс – форме. Поверхность миканита обрабатывают резцом, и надевают пластины коллектора на втулку. После прессовки с нагревом навертывают на резьбу втулки гайку 3 и защищают ее от самоотвертывания запорной шайбой 4. Торцы пластин изолируют от металлической шайбы 4 изоляционной шайбой 5. Для соединения с обмоткой якоря в пластины коллектора впаяны ленточные петушки 10.

К крайнему бандажному кольцу привернут вентилятор 9 с двумя камерами. Левая камера охлаждает поверхность коллектора, а правая – якорь возбудителя. В процессе производства коллектор подвергают разгону при повышенных оборотах с подогревом. Для уравновешивания несбалансированных масс в канавки бандажных колец укрепляют балансировочные грузы. Готовый коллектор напрессовывают на вал 1 возбудителя. Окончательно обрабатывают наружную поверхность коллектора после обмотки якоря.
В процессе работы машины вследствие неравномерного срабатывания медных пластин коллектора и миканитовых прокладок между ними последние могут выступать на поверхность коллектора, что ухудшает работу щеток. Для предотвращения этого у всех коллекторов выфрезеровывают миканитовые прокладки на глубину 0,8 – 1,5 мм. Поверхность коллектора покрывается продольными дорожками, поэтому операция получила название продораживание коллектора.
Конструкция станка для продораживания коллекторов электрических машин средней мощности показана на рис. 145. Миканитовые прокладки между пластинами прорезают дисковой фрезой 3 диаметром 20 мм. Такой малый диаметр фрезы берут для того, чтобы она не перерезала петушки коллектора. Толщину фрезы выбирают равной толщине миканитовых прокладок 2. Фреза насажена на шпиндель 4, который через шпиндельную головку 5 соединен с электродвигателем 6. Для установки фрезы по высоте шпиндельную головку можно перемещать вместе с суппортом 9 при помощи маховичка 7. Продольная подача фрезы осуществляется маховичком 14, передвигающим суппорт 8 по направляющим 12. Вся фрезерная установка укрепляется на чугунной стойке 11. Ввиду того что в коллекторах обычно имеет место перекос пластин, фрезерная установка может поворачиваться относительно плиты 13.

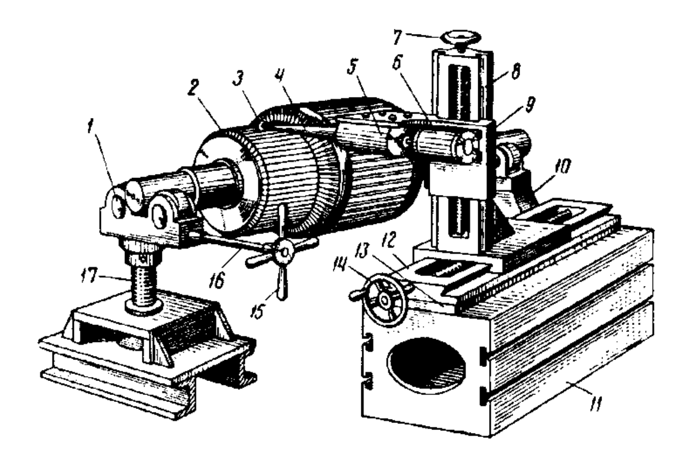


Рис. 145. Станок для продораживания коллекторов.

Якорь кладут шейками вала на роликовые опоры, опирающиеся осями на стойки 10 и 17. После прорезания одной прокладки поворачивают якорь на одно деление коллектора маховичком 15, который через валик 16 передает вращение червячной шестерне, поворачивающей один из роликов 1. Так как коллекторные пластины и миканитовые прокладки имеют отклонения толщин, приходится поворачивать якорь вручную, наводя его каждый раз на середину фрезы. Если бы якорь механически поворачивался точно на одно деление коллектора после фрезерования каждой прокладки, то фреза через несколько поворотов стала бы прорезать не миканитовую прокладку, а медную пластину. На Харьковском заводе "Электротяжмаш" спроектирован и построен полуавтоматический станок для продораживания коллекторов. Он оборудован следящей системой, устанавливающей каждую миканитовую прокладку по центру фрезы. Коллекторы крупных машин диаметром от 1,2 до 3 м. продораживают до посадки коллектора на вал якоря.

Для этой операции на заводах серийного производства строят специальные установки, представляющие собой сварную ферму с консольным кронштейном, на котором укреплены оси роликов. На эти ролики опускают внутреннюю окружность втулки коллектора. Один из роликов является приводным и служит для перекатывания коллектора по мере перехода процесса продораживания от одних прокладок к другим. Сбоку от фермы находится кронштейн, на котором устанавливают электродвигатель продораживателя. Фрезеровщик стоит на сварной стойке с торца коллектора. Стойка регулируется по высоте в зависимости от радиальной толщины коллектора. Конструкция такого продораживателя изображена на рис. 146.

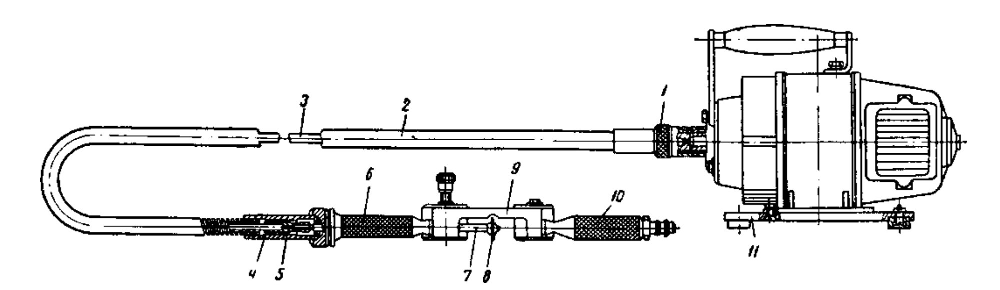


Рис. 146. Продораживатель для крупных коллекторов.

К лапам электродвигателя привернута пластина 11 с резиновыми амортизаторами. К подшипниковому щиту и станине привернута ручка для переноса продораживателя. На конец вала надета муфта 1 брони 2 гибкого валика 3. Броня валика представляет собой гофрированную трубку из спирально завитой профилированной ленты.

Гибкий валик соединен с концом вала электродвигателя. Другой его конец имеет наконечник 5, соединенный со шпинделем 7 Фрезы 8, которую он приводит во вращение. Второй конец брони валика трубкой 4 прикреплен к рукоятке 6. Броня служит для защиты гибкого валика от механических повреждений и сохранения в нем смазки. Рукоятки 6 и 10 ввернуты в корпус 9 продораживателя. Во время работы фрезеровщик держит корпус продораживателя за обе ручки и продвигает фрезу вдоль пластин коллектора. Для удаления миканитовой пыли и мелкой медной стружки все установки для продораживания оборудуют вытяжной вентиляцией.

§72. Укладка обмоток в пазы.

Перед укладкой обмотки обдувают сердечник сжатым воздухом из шланга для удаления из пазов опилок и пыли. Поверхность пазов тщательно осматривают, освещая их лампой местного освещения. При этом удаляют все заусенцы, выправляют погнутые зубцы и рас–Р'1 порки между пакетами. Сердечник и поверхности обмоткодержателей окрашивают черным асфальтовым лаком при помощи пульверизатора или кисти и просушивают. Контрольной лампой проверяют отсутствие замыканий между смежными коллекторными пластинами. По практической схеме обмотки размечают якорь для укладки первой катушки.

Затем приступают к изолировке пазов и нажимных шайб якоря согласно чертежу обмотки. Толщина изоляции обмоткодержателей должна быть выдержана так, чтобы выступающие концы пазовых гильз опирались на изоляцию во избежание разрывов гильз при забивании катушек в пазы. Полосы изоляционных материалов, которыми изолируют обмоткодержатели, туго затягивают киперной лентой. Уравнительные соединения 1 (рис. 147) устанавливают до укладки катушек в пазы, и концы их вставляют в хомутики петушков 2. Секции уравнительных соединений скрепляют бандажами согласно чертежу. В крупных машинах роль уравнительных соединений играют ленточные петушки коллекторных пластин. При этом они располагаются не радиально, а наклонно (рис. 148).

Два хомутика 1 и 4 разрезной обмотки, имеющие одинаковый потенциал, соединяют двумя петушками. При этом петушки должны быть расположены в два ряда (передний 3 и задний 2). Очевидно, что такая обмотка может быть выполнена только с полным числом уравнительных соединений.
Катушки обмотки могут быть левыми и правыми. Если смотреть со стороны коллектора, то у правых катушек правая сторона лежит на дне паза, а у левых катушек – левая. Обычно на каждом заводе все обмотки выполняют только с одним типом катушек, чтобы избежать необходимости применения разных способов укладки катушек в пазы. Ввиду того что обмотчику удобнее работать, когда коллектор расположен с левой стороны, наибольшее распространение имеют правые катушки. Процесс вкладывания катушек в пазы начинается с нижней стороны первой катушки, которую обмотчик осаживает на дно паза ударами молотка через фибровую прокладку. Вслед за первой вкладывают нижние стороны следующих катушек, а верхние остаются поднятыми до тех пор, пока не будут вложены стороны катушек, охватывающих шаг обмотки по пазам. После этого вместе с нижними сторонами катушек вкладывают и верхние стороны.

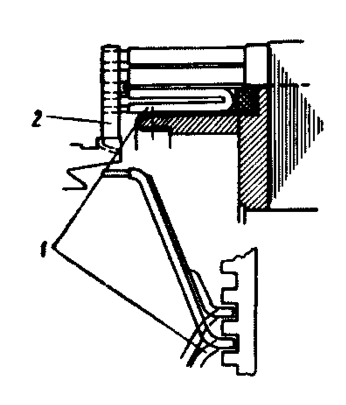


Рис. 147. Укладка уравнительных соединений.

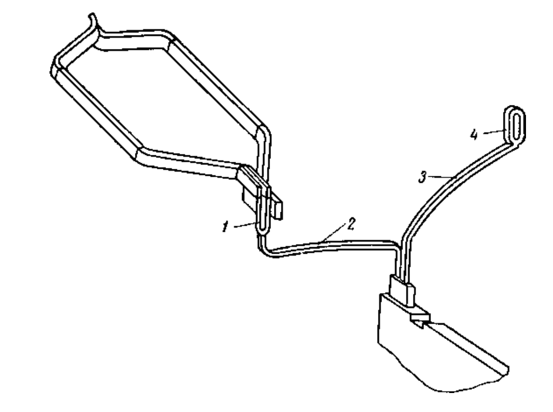


Рис. 148. Уравнительные соединения в петушках.

Одновременно с укладкой катушек в пазы выводные концы их соединяют с пластинами коллектора. Соединение первой катушки должно быть выполнено в полном соответствии с практической схемой обмотки, зафиксированной на якоре и коллекторе при разметке якоря под обмотку. При укладке следующих катушек из круглого провода во избежание нарушения правильной последовательности укладки секций катушки проверяют контрольной лампой. Это особенно необходимо при всыпных обмотках, у которых выводные концы выходят из пазов не правильными рядами, а пучком. В жестких катушках исключается возможность перепутывания концов секций.
Стороны катушки должны плотно входить в пазы, чтобы при работе машины катушки не перемещались в пазах, иначе изоляция их быстро сотрется. Однако, чтобы не слишком сильно ударять при осаживании катушек в пазы, предусматривают допуски на укладку, т. е. толщину катушки делают несколько меньше ширины паза. Величина допуска зависит от конструкции катушек. Для мягких катушек он составляет 5 – 8% от толщины катушки. Для одновитковых катушек из прямоугольного провода, подвергающихся при изготовлении прессовке, допуск берут от 0,1 до 0,2 мм. в зависимости от числа секций в катушке. Если катушки входят в паз слишком свободно, то увеличивают толщину пазовых гильз.
Пазовые части катушек, лежащие в пазах, распределяются симметрично по окружности якоря. Равномерное распределение по окружности лобовых частей катушек в большой степени зависит от обмотчика. При укладке лобовых частей он прижимает их друг к другу вплотную, чтобы можно было свободно вложить между ними лобовые части последних катушек. Таким образом, лобовые части последних катушек лежат свободнее, чем первых.

Если их так оставить, то центр тяжести якоря будет сильно сдвинут с геометрической оси и при балансировке придется к легкой стороне якоря прикреплять большие балансировочные грузы во избежание вибрации машины при работе. Для таких грузов может вообще не хватить места на торце якоря. Поэтому после укладки всех катушек обмотчик разгоняет лобовые части при помощи деревянного клина.
В машинах малой мощности с коллекторами с пластмассовыми корпусами и ручными обмотками на торцах якоря нет места для крепления балансировочных грузов. Такие машины балансируют, забивая в отдельные пазы кусочки металлических клиньев вместо деревянных.
Не рекомендуется производить балансировку путем напаивания припоя на проволочные бандажи лобовых частей. При больших грузах это влечет за собой растягивание бандажей при вращении якоря и нарушение балансировки. Поэтому в конструкциях быстроходных микромашин часто предусматривают специальные диски, насаженные на вал вблизи подшипников. Такие якоря балансируют, высверливая отверстия в ободе балансировочного диска. Если балансировочные грузы крепят на легкой стороне якоря, то отверстия высверливают на диаметрально противоположной его стороне.

§73. Ручные обмотки якоря.

Длина лобовых частей шаблонных обмоток якоря растет с уменьшением диаметра якоря и увеличением шага обмотки. Если бы микромашины мощностью в десятки и сотни ватт выполнялись с шаблонными обмотками, то длина лобовых частей превышала бы длину якоря. Это связано с увеличением длины машины, расхода меди и потерь в обмотке. Кроме того, в быстроходных машинах лобовые части шаблонных обмоток было бы очень трудно защитить от деформаций, вызванных действием центробежных сил. Поэтому обмотки якорей таких машин наматывают проводом непосредственно в пазы якоря.
Для защиты от замыкания на сердечник в пазы вставляют гильзы, по торцам якоря ставят изоляционные диски 1, а на вал надевают изоляционные трубочки 2 (рис. 149). При мелкосерийном производстве якоря обматывают вручную, поэтому такие обмотки называют ручными в отличие от шаблонных.

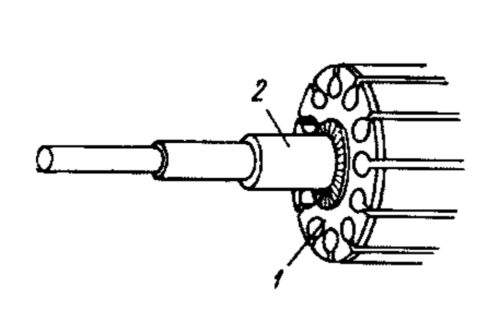



Рис. 149. Изоляция якоря с ручной обмоткой.

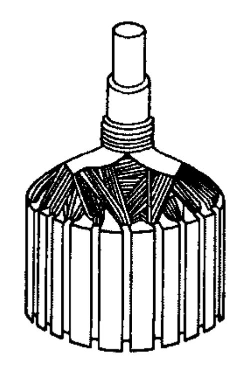


Рис. 150. Обмотанный якорь с ручной обмоткой.

На рис. 150 показан обмотанный якорь. Лобовые части обмотки плотно прижимаются к торцу сердечника, занимают очень мало места и не требуют никакого крепления, кроме склеивания их пропиточным лаком. В процессе обмотки якорь кладут шейками вала на деревянные подставки и поддерживают его левой рукой. Правой вкладывают витки обмотки в пазы, обводя рукой вокруг полюсного Деления обмоточный провод, сматываемый с катушки, расположенной на стойке. При намотке приходится все время считать витки, число которых в пазу бывает по несколько сотен. Обычно намотку производят до насадки на вал коллектора.

Ручную обмотку ведут в два слоя, однако витки располагается на лобовых частях несимметрично.
Например, при числе пазов 2 = 7 и шаге по пазам *y*z = 3 (рис. 151*а*), сначала ведут намотку в пазы 1 и 4, заполняя их проводами наполовину, за тем переходят в пазы 2 и 5, а после – в пазы 3 и 6. Все провода кладут в нижний слой обмотки. При переходе обмотки в пазы 4 и 7 провода в пазу 4 попадут в верхний слой, а в пазу 7 – в нижний. Теперь переходят в пазы 5 и 1, в которых провода ложатся в верхний слой, и эти пазы заполняются проводами. Последние провода вкладывают в пазы 7 и 3. При переходе из паза в паз оставляют петли, которые будут соединены с пластинами коллектора. Таким образом, вся обмотка ведется непрерывным проводом.

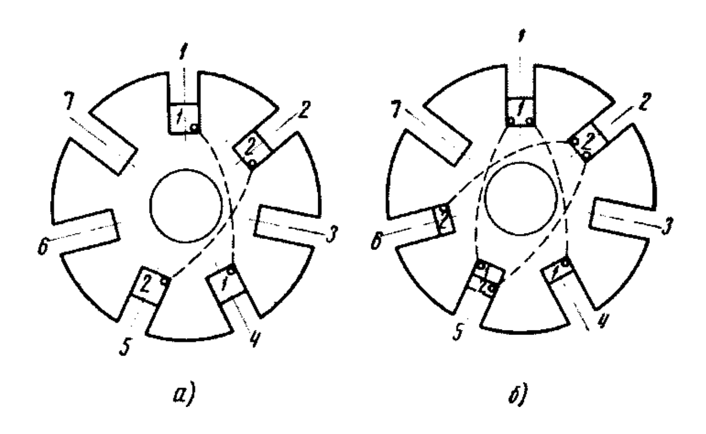


Рис. 151. Схемы ручных обмоток: *а* – простая, *б* – в "елочку"

Несимметричное расположение лобовых частей приводит к смещению центра тяжести якоря и увеличивает их вылет. Чтобы добиться более симметричного расположения лобовых частей применяют намотку "в елочку". Для этого каждую катушку обмотки делят на две и наматывают ее из одного паза в два других (рис. 151*б*), например из паза 1 в пазы 4 и 5. После этого паз 1 заполняется наполовину, а пазы 4 и 5 – на одну четверть. Следующие катушки наматывают из паза 2 в пазы 5 и 6, после чего паз 2 заполняется наполовину, паз 5 – также наполовину, а паз 6 – на одну четверть. Таким образом, в пазах обмотка располагается не в два, а в четыре слоя.
При намотке "в елочку" уже нельзя соединять петли с пластинами коллектора. После намотки надо петли разрезать и концы катушек соединить в порядке их расположения на якоре. Однако и при намотке в елочку не симметрия еще сохраняется, хотя и в меньшей степени, чем при простой намотке. При нечетном числе пазов можно добиться симметричной укладки обмотки, если смещение делать не на один, а на три паза. Это значит, что для данного якоря после намотки катушек из паза 1 в пазы 4 и 5 надо перейти в паз 4 и наматывать из него в пазы 7 и 1. Следующие катушки будут намотаны из паза 7 в пазы 3 и 4 и т. д.

§74. Обмоточные станки для якорей.

Электрические машины малой мощности выпускаются в больших количествах, поэтому процессы ручных обмоток механизированы в значительно большей степени, чем шаблонных обмоток. В частности, механизированы процессы изолировки пазов, обмотки якорей и забивки клиньев в пазы. Для намотки провода в пазы якоря применяют полуавтоматические станки различных типов. Выбор типа станка определяется размерами якоря, диаметром обмоточного провода, числом полюсов и схемой обмотки.

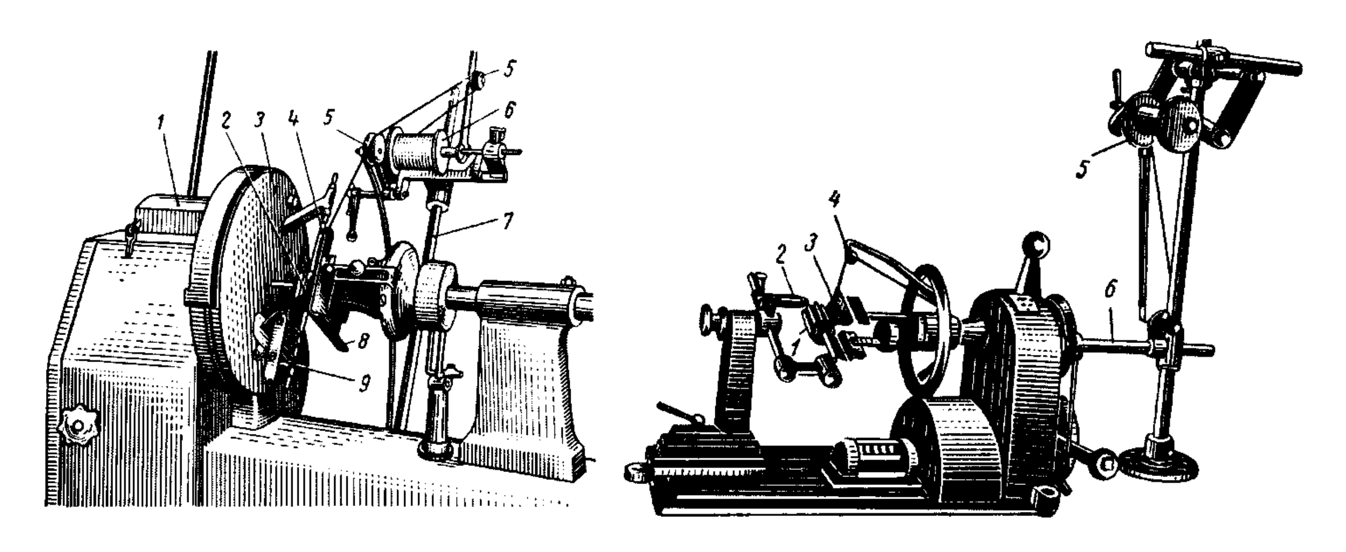


Рис. 152. Обмоточный станок с вращающимся якорем.

Рис. 153. Обмоточный станок с неподвижным якорем.

Существующие обмоточные станки имеют следующие конструкции:
1) при намотке якорь вращается вокруг оси, перпендикулярной к оси вала;
2) якорь неподвижен, вокруг него вращается водило;
3) станок челночного типа с возвратно – поступательными движениями челнока или якоря и поворотами якоря на величину шага обмотки то в одну, то в другую сторону.
На рис. 152 показан обмоточный станок первого типа с установленным на нем якорем. Якорь 2 устанавливается в центрах 4 укрепленных на планшайбе 3, и при работе станка вращается со скоростью 500 – 1000 об/мин. вместе с планшайбой. Провод подается через ролики 5 с катушки 6, установленной на стойке 7, и направляется в пазы якоря крыльями 8, вращающимися вместе с якорем.
Процесс намотки якоря с 240 проводами в пазу, 2 секциями в катушке и 60 витками в секции состоит из следующих операций:
1) якорь устанавливают в центрах станка, провод вводят в паз и обертывают его конец несколько раз вокруг вала;
2) счетчик оборотов 1 устанавливают на число витков в секции;
3) после пуска станка планшайба делает 60 оборотов. Затем автоматически выдвигается один крючок 9, расположенный на стойке планшайбы, за который зацепляется один виток провода в виде петли;
4) планшайба делает еще 60 оборотов и выпускает второй более длинный крючок, за который зацепляется петля провода;
5) планшайба автоматически останавливается, направляющие крылья отходят от якоря, зуб планшайбы поворачивает якорь на одно пазовое деление, в котором якорь запирается защелкой;
6) крылья снова упираются в поверхность якоря и планшайба начинает вращаться, повторяя 3 и 4 операции. Операции 3, 4 и 5 повторяются столько раз, сколько пазов имеет якорь, после чего обмотанный якорь снимают со станка.
Станок имеет три крючка, что позволяет обматывать якоря с 1, 2 и 3 секциями в катушке. Станок предназначен для намотки якорей микродвигателей проводом диаметром до 0,5 мм, где укладываются сотни проводов в паз. Производительность станка в 12 – 15 раз выше ручной укладки.
На рис. 153 изображен обмоточный станок второго типа, предназначенный для обмотки якорей диаметром до 100 мм. при диаметре провода до 1,2 мм. В этом станке якорь в процессе обмотки неподвижен, поворот его после намотки одной катушки производится вручную. При неподвижном якоре удобнее наблюдать за укладкой провода и в случае необходимости подправлять его, но такие станки менее производительны и поэтому реже применяются.

Провод с катушки 1 через направляющие ролики 2 и отверстие в шпинделе 3 подводится к вращающемуся водилу 4, которое вкладывает провода в пазы якоря 6. Для направления провода служат крылья 5, прижимаемые к окружности якоря.

Обмоточные станки первых двух типов удобны для обмотки якорей двухполюсных машин, в которых провода катушки укладываются в пазы, расположенные диаметрально противоположно. Для четырех и шестиполюсных машин, а также для обмоток с переменным шагом применяют станки челночного типа (рис. 154).

Якорь 1 закрепляется в центрах станка и при помощи шатунного механизма 2 может совершать колебательные движения вокруг своей оси. Другой шатунный механизм 4 сообщает возвратно–поступательные движения оправке челнока 5. Все механизмы станка приводятся в движение от двигателя 3.

Работа станка за время намотки одного витка включает следующие операции:

1) челнок движется вдоль якоря, вводя один провод в паз;

2) челнок останавливается, а якорь поворачивается на одно полюсное деление;

3) челнок движется вдоль неподвижного якоря в обратном направлении, вводя провод в другой паз;

4) когда челнок пройдет всю длину паза, якорь поворачивается на полюсное деление в обратном направлении.

После намотки катушки в два паза якорь вручную поворачивают на одно пазовое деление и работа станка продолжается.

Станки челночного типа могут быть как с горизонтальным, так и с вертикальным ходом челнока. Эти станки имеют низкую производительность, поэтому их применяют только для якорей с не большим числом проводов в пазу.

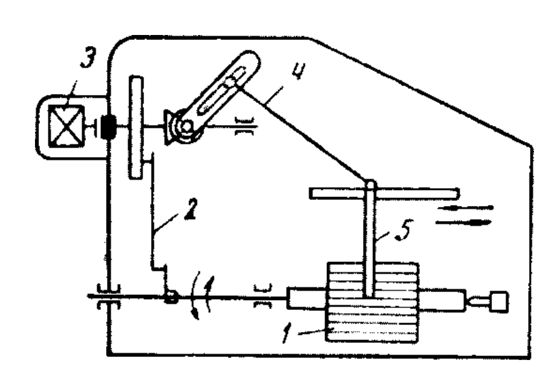


Рис.154. Схема обмоточного станка челночного типа.

§75. Новые виды обмоток якоря.

В предыдущем параграфе были освещены вопросы механизации ручных обмоток якоря. Как мы видели, для изолировки пазов и укладки в них обмоток приходится строить сложные полуавтоматические станки, которые тем не менее, не в состоянии полностью устранить ручной труд. Так, например, вкладывают выводные концы катушек в коллекторные пластины, проверяют схемы и паяют соединения в этих якорях исключительно вручную. Гораздо большего экономического эффекта можно добиться, перестраивая конструкцию якоря, а иногда и всей машины. В последнее время благодаря достижениям химии намного расширились возможности создания новых конструкций электрических машин. Рассмотрим две новые конструкции якорей электрических машин малой мощности: безпазового и с печатной обмоткой. В связи с разработкой эпоксидных смол, обладающих после затвердевания большой механической прочностью, стало возможным не вкладывать провода обмотки в пазы, а приклеивать их к гладкой поверхности цилиндрического якоря. На рис. 155 схематически показано устройство такого якоря. На вал 1 набраны листы 2 якоря без пазов. К ним при помощи эпоксидного клея 4 приклеены провода 5 обмотки якоря. Для повышения механической прочности каждый слой обмотки обернут стекло лентой 3.

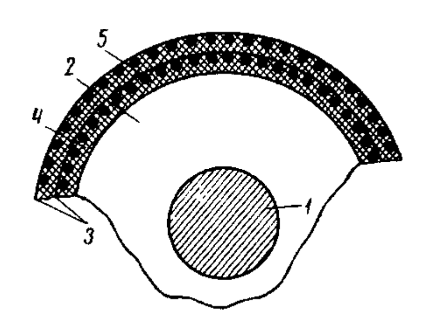


Рис. 155. Обмотка безпазового якоря.

Электродвигатель постоянного тока с таким якорем имеет малую инерцию и может с успехом применяться в схемах автоматического регулирования. При этом значительно упрощаются процессы изготовления сердечника якоря и особенно его обмотки.

Двигатель с беспазовым якорем имеет лучшие характеристики, чем двигатель обычного типа. Он может развивать вращающий момент при пуске, равный 10 – кратному номинальному моменту, поэтому валы таких якорей делают усиленными. Электродвигатель с беспазовым якорем выполняют без вентилятора, так как обмотка якоря хорошо охлаждается благодаря хорошим условиям теплоотдачи с поверхности якоря.

Еще большие возможности открывает применение печатных обмоток якоря. В радиотехнике печатные схемы применяют уже давно, заменяя проволочные сопротивления, индуктивности и емкости. В последние годы широкое распространение получают электродвигатели с печатными обмотками якоря. Такие двигатели можно было бы сделать и с цилиндрическим якорем, однако конструкция плоского якоря значительно проще. Конструкция такого двигателя изображена на рис. 156. Для возбуждения использованы восемь (по числу полюсов двигателя) постоянных магнитов 1. Они закреплены в стальном кольце 2. С другого конца к ним припаяны полюсные наконечники 4 трапецеидальной формы. Все эти детали установлены в левой части алюминиевого корпуса. В правой его части укреплено второе магнитное кольцо 2. Между этим кольцом и полюсными наконечниками образуется узкая щель, в которой и вращается якорь 5. Половины корпуса скреплены винтами.

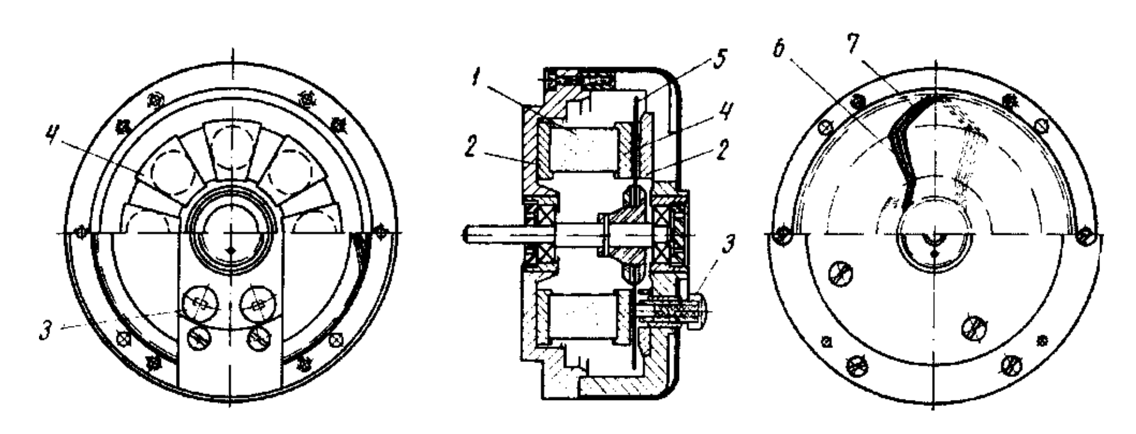


Рис. 156. Двигатель с печатной обмоткой якоря.

Якорь представляет собой тонкий диск, изготовленный из стеклотекстолита. Обе стороны его покрыты тонкой фольгой, на которой и отпечатаны методом травления провода обмотки. Активные стороны 6 проводов расположены на диске радиально, а лобовые части 7 – наклонно. На рисунке сплошными линиями показаны провода на передней стороне диска, пунктирными – провода на обратной его стороне. Они соединяются друг с другом через просверленные в диске отверстия, на стенках которых осаждена медь. Обмотка якоря волновая, это дает возможность установить только две щетки 3, которые контактируют непосредственно с проводами обмотки.

Щетки находятся на расстоянии полюсного шага и вставлены в щеткодержатели. Толщина фольги 0,03 – 0,2 мм., а ширина проводников изменяется от 0,5 до нескольких миллиметров. Расстояние между проводниками 0,15 – 0,2 мм. Диск якоря закреплен на втулке, надетой на вал и заштифтованной на нем. Вал вращается в шарикоподшипниках. Якорь с печатной обмоткой имеет следующие преимущества перед якорем обычной конструкцией: упрощается технология изготовления якоря; якорь имеет ничтожную инерцию и поэтому быстро разгоняется; обмотка якоря почти не обладает индуктивностью; благодаря большому числу пластин коллектора обеспечивается хорошая коммутация; хорошее охлаждение обмотки допускает большие плотности тока (до 40 а/мм^2); якоря с печатной обмоткой в 7 – 8 раз легче обычных. Благодаря указанным преимуществам электродвигатели с печатной обмоткой якоря применяются в быстродействующих следящих системах, устройствах автоматики и в различных приборах. Самой сложной операцией изготовления двигателя с печатной обмоткой является получение надежной обмотки, не отслаивающейся от диска и стойкой против изнашивания ее щетками. Существует несколько способов получения печатной обмотки (травление фольги, электрохимический и др.).

§76. Обмотки коллекторных двигателей переменного тока.

Если двигатель постоянного тока питать переменным током, то его якорь будет вращаться в ту же сторону. При изменении направления тока будет меняться его направление в обмотке якоря и катушках полюсов, поэтому по правилу левой руки направление вращения не изменится. Однако во избежание больших потерь энергии от вихревых токов необходимо, чтобы сердечники якоря и станины были выполнены из листов электротехнической стали, изолированных друг от друга. Такие двигатели называются коллекторными двигателями переменного тока. Обмотка якоря двигателей переменного тока выполняется так же, как и двигателей постоянного тока. Но в микродвигателях мощностью до 100 Вт она имеет некоторые особенности, обусловленные расположением щеток на коллекторе. В машинах большой мощности щетки устанавливают по линии главных полюсов, так как нейтрали на коллекторе сдвинуты по отношению к нейтралям на якоре на половину полюсного деления (см. рис. 139, 140 и 141). В двухполюсных микродвигателях в целях уменьшения размеров щетки располагают между полюсами. На рис. 157 показано устройство коллекторного двигателя переменного тока. Пакет статора собран из штампованных листов 14 и залит в алюминиевую оболочку 16. На полюса, выштампованные вместе с сердечником статора, надеты катушки возбуждения 15, намотанные из эмалированного медного провода и изолированные лентой из лакоткани. Обмотка возбуждения соединена последовательно с якорем. Благодаря этому двигатель имеет большой пусковой момент и быстро разгоняется при пуске.

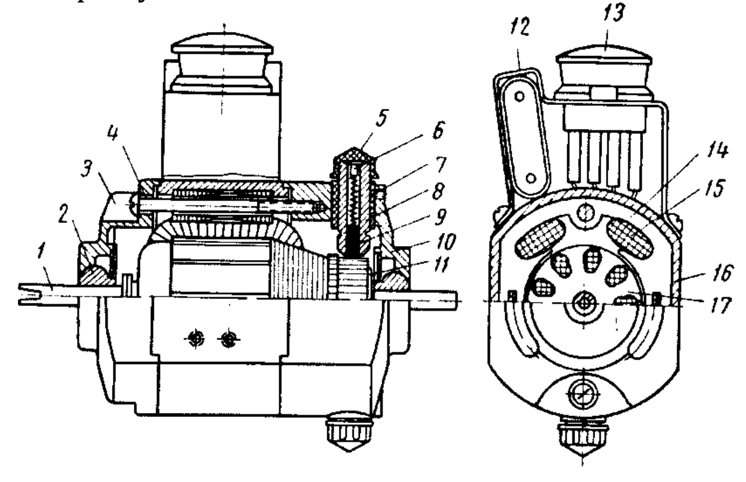


Рис. 157. Коллекторный двигатель переменного тока.

К торцевым поверхностям статора прикреплены винтами 4, проходящими через отверстия в сердечнике статора, передняя 10 и задняя 3 крышки, отлитые из алюминиевого сплава. В крышках смонтированы втулки подшипников скольжения 2, имеющие шарообразную наружную поверхность. Благодаря этому они всегда устанавливаются вдоль оси вала.

В отверстия передней крышки вставлены щеткодержатели 8, изолированные от нее пластмассовыми гильзами 7, в отверстия щеткодержателей – угольно – графитные щетки 9 квадратного сечения.

Подвод тока к щетке осуществляется при помощи гибкого медного канатика, проходящего внутри пружины, прижимающей щетку к коллектору 11. Один конец канатика заделан в тело щетки, а другой припаян к контактной пластине 6. На наружном конце щеткодержателя нарезана резьба для навинчивания пластмассового колпачка 5. Сердечник якоря собран из штампованных листов 17 электротехнической стали и напрессован на вал 1. В листах якоря проштампованы девять пазов грушевидной формы. При такой форме паза можно вложить в него больше проводов, не ослабляя толщину зубца. Обмотка якоря намотана проводом в пазы якоря без предварительной заготовки катушек. Благодаря этому в двухполюсной машине резко сокращаются размеры лобовых частей обмотки. Для снижения не симметрии в укладке лобовых частей обмотку наматывают в пазы по схеме "елочка". Концы обмотки припаяны к пластинам коллектора. К корпусу двигателя скобой 12 прикреплена колодка 13 переключения двигателя на питание от сети напряжением 127 или 220 В.

На рис. 158 изображена практическая схема обмотки якоря коллекторного двигателя с 13 пазами якоря и 26 коллекторными пластинами. Как видно на схеме, верхние концы обмотки якоря направлены к коллекторным пластинам, лежащим против первого паза, а нижние сдвинуты на полюсное деление. Таким образом, шаг по коллектору $y_к = 1$, как в простой петлевой обмотке. Так как пазы якоря скошены, для разметки проводят пунктирную линию от середины первого паза к миканитовой прокладке между второй и третьей коллекторными пластинами.

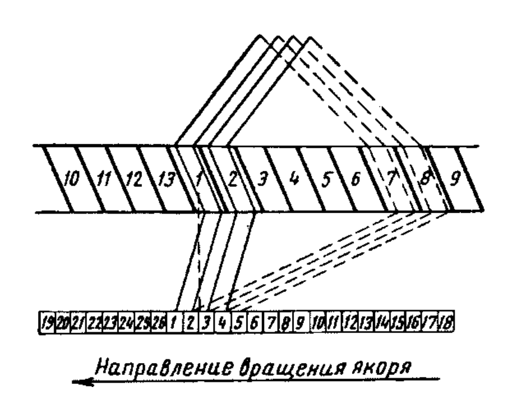


Рис. 158. Схема обмотки якоря коллекторного двигателя.

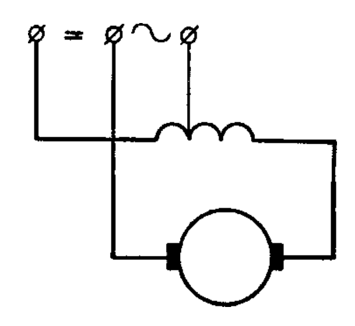


Рис. 159. Схема включения универсального двигателя.

В двигателях с поворотной траверсой без дополнительных полюсов сдвигают щетки с нейтрали в сторону, обратную вращению, вследствие реакции якоря. У этого двигателя нет поворотной траверсы и поэтому концы обмотки сдвинуты на коллекторе относительно оси первого паза на одно коллекторное деление по направлению вращения якоря. Итак, коллекторный электродвигатель может питаться как от сети постоянного, так и переменного тока. Но номинальные данные его при питании от разных сетей будут различными. Чтобы получить двигатель с примерно одинаковыми номинальными данными при питании от сети постоянного и переменного тока, обмотку возбуждения выполняют с дополнительным выводом. При работе от сети постоянного тока включаются все витки катушки (рис. 159), а при питании переменным током – только часть витков. Такие двигатели называются универсальными.

Контрольные вопросы.
1. Чем отличаются петлевые обмотки от волновых?
2. Что называется практической схемой обмотки якоря?
3. В чем заключается расчет простой петлевой обмотки якоря?
4. Чем отличается сложно – петлевая обмотка от простой?
5. Какие свойства имеет волновая обмотка?
6. Как рассчитывают и составляют таблицу якорной обмотки?
7. Что такое уравнительные соединения?
8. Когда применяют ступенчатые обмотки?
9. Какое устройство имеют "лягушечьи" обмотки?
10. Какие существуют способы разметки якоря под обмотку?
11. Расскажите об устройстве коллектора.
12. Для чего производят продораживание коллектора?
13. В каком порядке укладывают в пазы ручные обмотки?
14. Какие существуют станки для обмотки якорей?
15. Как устроен двигатель с печатной обмоткой якоря?
16. В чем заключается особенность разметки под обмотку якоря двухполюсного микродвигателя?

Глава XIII

Паяние и сварка соединений в обмотках.

§77. Мягкие и твердые припои.

К соединениям в обмотках предъявляют следующие требования: не окисляемость, низкое переходное сопротивление контакта, виброустойчивость, механическая прочность, нагревостойкость и др. Выбор способа соединения зависит от условий работы машины, класса нагревостойкости изоляции, конструкции мест соединения. Наиболее распространенным способом соединения является паяние мягкими и твердыми припоями.

В машинах старых типов единственным способом соединения было паяние мягкими оловянно – свинцовыми припоями, из которых чаще всего применялся так называемый третник, состоящий из двух частей олова и одной части свинца. Это сплав, который переходит из жидкого состояния непосредственно в твердое, минуя промежуточную стадию тестообразного состояния. Однако не для всех соединений этот припой является наилучшим. В соответствии с ГОСТ 1499 – 54 применяют следующие марки оловянно – свинцовых припоев: ПОС – 90, ПОС – 61, ПОС –50, ПОС – 40, ПОС – 30 и ПОС – 18. Буквы обозначают сокращенное название припоя (припой оловянно – свинцовый), цифры – процентное содержание в нем олова.

При выборе марки припоя необходимо руководствоваться как технологическими, так и экономическими соображениями. С увеличением содержания олова растет стоимость припоя, но зато повышается его жидкотекучесть. В соединениях с узкими глубокими щелями, например в соединении стержневых обмоток с петушками коллектора, используют припои с более высоким содержанием олова, а в ответственных машинах – иногда и чистое олово. В соединениях с широкими щелями и для лужения применяют малооловянистые припои. Паяние мягкими припоями используют для соединений обмотки якоря с пластинами коллектора, соединения головок стержневых обмоток, межфазовых и межкатушечных перемычек, кабельных наконечников и др.

Оловянно – свинцовый припой не удовлетворяет требованию нагревостойкости. В электрических машинах старых типов нагрев обмоток обычно не превышал температуру 100°C, и работали они в продолжительном режиме или в повторно – кратковременном с малым числом пусков. Но температура размягчения мягких припоев ниже рабочих температур обмоток двигателей с частыми пусками. В результате этого стали применять паяние твердыми припоями, температура плавления которых выше 600°C.

Из твердых припоев в обмотках электрических машин наибольшее распространение получили меднофосфористые припои ПМФ7 и ПМФ9. Первый имеет температуру плавления 850°С, второй 780°С. Цифры в обозначениях марок припоев показывают процентное содержание фосфора. Меднофосфористые припои имеют низкую стоимость и не требуют драгоценных металлов и флюсов при паянии меди. Они обладают хорошими технологическими свойствами, высокой прочностью и электропроводностью соединения. Успешное применение меднофосфористых припоев в электропромышленности свидетельствует о целесообразности дальнейшей замены этими припоями оловянно – свинцовых. В некоторых случаях при этом требуется изменение конструкции соединений. Меднофосфористые припои не пригодны для паяния черных металлов, так как они их не смачивают. Отрицательной особенностью меднофосфористых припоев является также низкая пластичность соединения, поэтому в соединениях, работающих на удар и изгиб, их заменяют хотя и более дорогими, но более пригодными для этих условий серебряными припоями. Так, например, для паяния коллекторов наилучшим является припой ПСр – 71, содержащий 71% серебра, 28% меди и 1% фосфора. Прочность соединения, спаянного этим припоем, превышает прочность меди. Припой обладает высокой электропроводностью, жидкотекучестью и позволяет применять импульсное паяние.

§78. Флюсы.

Чтобы получить хорошее паяное соединение, припой должен смачивать соединяемые поверхности, растекаться по ним и затекать в тончайшие зазоры между ними. Для этого соединяемые поверхности должны быть совершенно чистыми, без окислов, жира, грязи. Очистить поверхности можно механическим путем – стальными щетками, напильниками, шаберами и стеклянной бумагой. Но этого недостаточно. В процессе нагрева очищенные поверхности покрываются тонким слоем различных окислов, препятствующих паянию. Для исключения вредного влияния окислов применяют особые вещества, называемые флюсами. Они должны сплавлять и удалять окислы с поверхности соединяемых металлов и предохранять их от окисления в процессе паяния; предохранять от окисления расплавленный припой; снижать поверхностное натяжение припоя и улучшать его смачиваемость и растекаемость.

Однако флюсы не могут заменить механической очистки поверхностей, так как они не удаляют посторонних веществ органического происхождения, например жиров, масел и др.

При паянии мягкими припоями в электромашиностроении чаще всего применяют в качестве припоя канифоль в виде порошка или раствора в бензине или спирте в пропорции по весу 1:1. Канифоль хорошо защищает металл от коррозии и не выделяет паров, разъедающих изоляцию. Она покрывает место паяния твердой защитной пленкой, образующейся после окончания паяния. Эта пленка водонепроницаема, и кислоты, остающиеся на паяном шве под пленкой, утрачивают свою активность.

При паянии электролитической меди меднофосфористыми припоями, которые являются самофлюсующимися, флюсов не требуется. Для паяния медных сплавов, как это имеет место при паянии латунных стержней пусковой обмотки в короткозамкнутых роторах с двойной клеткой, необходимо применять флюс (буру или борную кислоту).

§79. Паяльники.

При паянии мягкими припоями для нагревания деталей и расплавления припоя служат электрические паяльники. По способу нагрева их можно разделить на паяльники с нагревательными спиралями, с контактным нагревом, электродуговые и ультразвуковые. Нагревательные спирали паяльников наматывают из проволоки с высоким удельным сопротивлением – нихрома или фехраля.

В электрических паяльниках, включаемых в сеть напряжением 220 В, для получения небольшой мощности приходится применять очень тонкую проволоку, которая быстро перегорает. Поэтому для питания электрических паяльников используют пониженное напряжение от специальных трансформаторов с напряжением на вторичной обмотке от 10В для маломощных паяльников до 55 В для паяльников мощностью в несколько сотен ватт.
Обычно в электропаяльниках нагревательные спирали обертывают вокруг стержня, изолированного жаростойким миканитом. Недостаток такой конструкции заключается в том, что большое количество тепла рассеивается и паяльники потребляют много электроэнергии. Сильный нагрев наружной оболочки затрудняет работу с паяльником, может быть причиной ожогов и пожаров. На рис. 160 показано устройство усовершенствованного паяльника с нагревательными спиралями. В стержне 5 профрезерован паз, в который вложена пластинка 8 жаростойкого миканита толщиной 1 мм. с намотанной на нее спиралью 4. Пластинка закреплена винтами 6. Стержень паяльника заключен в обойму 3 из листовой стали с приваренной к ней трубкой 2, которая при помощи кольца 1 скреплена с деревянной ручкой. Для защиты от излучения тепла между стержнем и обоймой вложен асбестовый шнур 7. Спираль соединена в две параллельные ветви. Паяльник потребляет небольшую мощность (90 – 100 Вт), наконечник его в течение 10 мин разогревается до температуры 500°С.

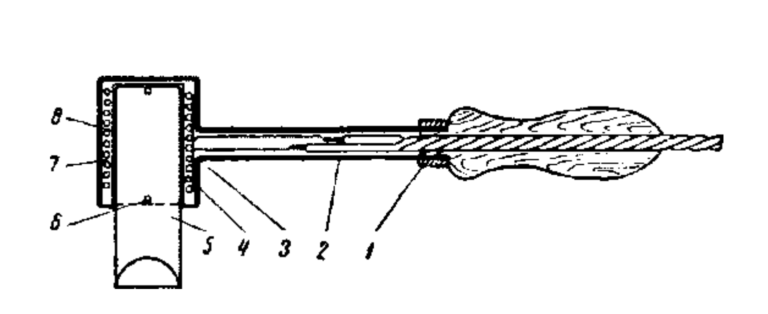


Рис. 160. Электропаяльник с нагревательными спиралями.

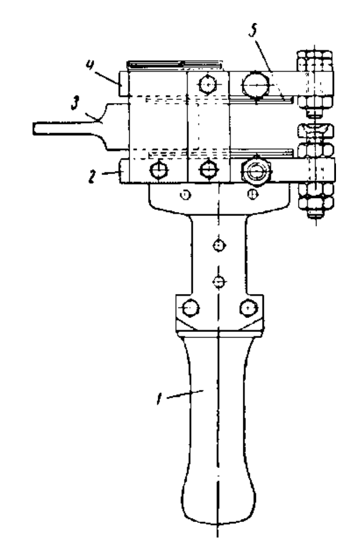


Рис. 161. Электропаяльник с контактным нагревом.

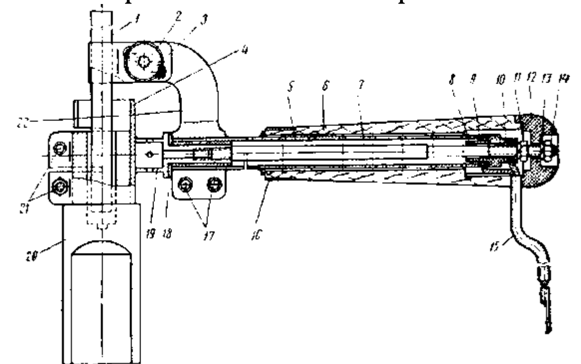
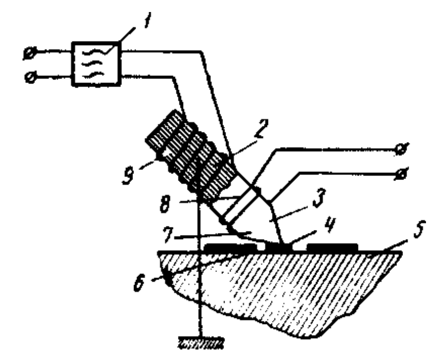


Рис. 162. Электродуговой паяльник.



163. Ультразвуковой паяльник.

Недостатками паяльников с нагревательными спиралями являются частое перегорание спиралей и небольшая мощность. Поэтому их применяют лишь в тех случаях, когда приходится периодически пользоваться паяльником для паяния небольших деталей. Для непрерывного процесса паяния крупных деталей служат более мощные и надежные паяльники с контактным нагревом или электродуговые.

На рис. 161 показано устройство паяльника завода "Электросила" с контактным нагревом. Ток от понижающего трансформатора напряжением 10 – 36 В и мощностью 20 – 30 кВт подводится к двум медным планкам 2 и 4, между которыми зажимают медные наконечники, последние подбирают в зависимости от характера работы. На одной из сторон планок наплавлен слой 5 нихрома, обладающий повышенным сопротивлением, вследствие чего наконечники при протекании тока нагреваются. Паяльник укреплен на ручке 1 из теплоизолирующего материала. Паяльники с контактным нагревом применяют при изготовлении коллекторов, а также для паяния якорных обмоток с петушками коллектора, проволочных бандажей и для других работ. Такие паяльники имеют большую мощность и более надежны в работе, чем паяльники с нагревательными спиралями.
В электродуговых паяльниках наконечник нагревается электрической дугой, которая горит между ним и угольным электродом Особенно удобны такие паяльники для паяния бандажей, так как ввиду большой массы якоря требуется мощный источник тепла. Электродуговой паяльник (рис. 162) имеет сменный медный наконечник 20, который хвостовиком вставляют в стальной держатель 4 и крепят двумя болтами 21. К держателю приварен; кронштейн 19. К нему подводится ток через латунную шпильку 7. Второй электрод источника тока соединен с латунной трубкой 5, изолированной от шпильки 7 изоляционной трубкой 8. Ток от трансформатора подводится через двухжильный кабель 15. Одна жила зажата гайкой 11 между двумя шайбами, вторая – между шайбами 9. Ток от трубки 5 через скобу 3 поступает к угольному электроду 1. Держатель 22 электрода приварен к трубке 5 и зажат хомутиком с болтами 17. Паяльник держат за деревянную ручку 6 с металлическим кольцом 16. ручка насажена на трубку 5 и закреплена гайкой 14 с пружинной шайбой 13, прижимающей текстолитовую головку 12. Электрод закрепляется в держателе скобой 3 при помощи болта и гайки 2. Для зажигания дуги необходимо положить несколько мелких кусочков угля в углубление наконечника 20, включить рубильник и опустить электрод до соприкосновения с углем. В процессе горения длина электрода уменьшается, поэтому через каждые 10 – 15 мин электрод вдвигают в углубление головки на несколько миллиметров. Паяльник питается однофазным током напряжением 35 – 40 В и потребляет ток 40 – 45 А. Чтобы защитить глаза от вредного действия ультрафиолетовых лучей, при работе с паяльником необходимо надевать светозащитные очки.
Ультразвуковые паяльники применяют для паяния и лужения алюминия. Алюминий на воздухе быстро покрывается слоем окиси, препятствующей соединению припоя с металлом. Под действием ультразвука окисная пленка размельчается и удаляется с поверхности, открывая припою доступ к поверхности алюминия.
Ультразвуковой паяльник (Рис. 163) питается переменным током частотой 20 – 44 кГц от генератора 1 мощностью 35 – 100 Вт. Ток высокой частоты подводится к катушке 9, внутри которой находится сердечник 2 из сплавов железа, никеля или кобальта под действием тока высокой частоты длина такого сердечника периодически изменяется и он начинает излучать ультразвуковые колебания. На конце сердечника укреплена головка 7 паяльника, заостренный конец 3 которой является рабочим элементом паяльника.
Обмотка 8 служит для нагревания сердечника до температуры паяния и питается от сети переменного тока промышленной частоты, ультразвуковые колебания проходят через расплавленный слой припоя и воздействуют на окисную пленку 6, поэтому соединение припоя 4 с деталью 5 получается прочным. Паяние производят чистым оловом или оловянно – цинковым припоем без флюса. Поверхность металла должна быть очищена от различных масляных загрязнении. Паяльники с собственным подогревом используют для паяния деталей толщиной не более 10 мм. Для массивных деталей применяют подогрев электрическими устройствами, паяльной лампой или газовой горелкой. Последнее наиболее удобно потому, что нагревание происходит очень быстро; это обеспечивает равномерное нанесение тонкого слоя в месте паяния.

§80. Паяние коллекторов мягкими припоями.

Паяние коллекторов с обмоткой посредством паяльника возможно только для микромашин, так как с увеличением диаметра коллектора тепловой энергии паяльника становится недостаточно для нагрева коллектора до температуры плавления припоя. Поэтому для паяния коллекторов машин средней мощности, у которых выводы обмотки впаяны непосредственно в коллекторные пластины, прибегали к помощи паяльной лампы, которой предварительно прогревали поверхность коллектора. Однако эта операция вредно отражалась на качестве коллектора, так как вследствие местных перегревов коллекторная медь теряла твердость и наблюдалось выгорание склеивающих лаков в миканитовых прокладках между пластинами.

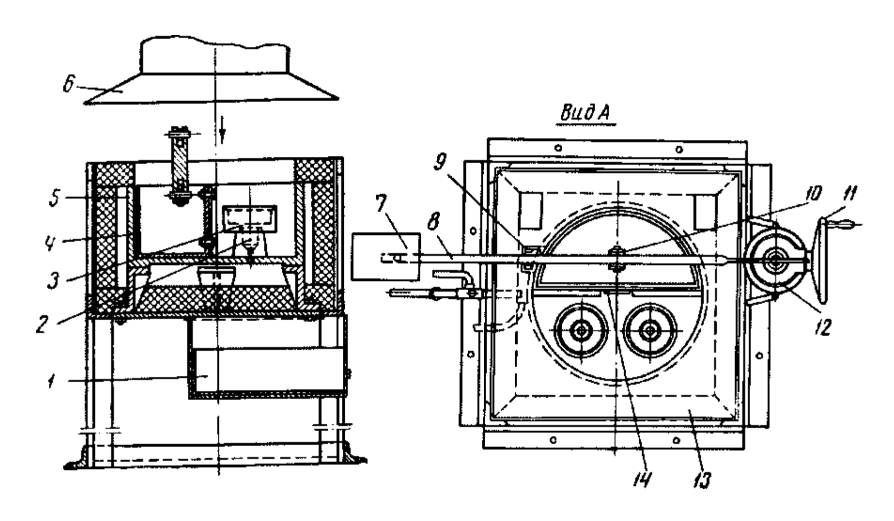


Рис. 164. Ванна для паяния обмоток якорей с коллектором.

Эти недостатки удалось устранить при паянии коллекторов в специальных ваннах. На рис. 164 показано устройство ванны для одновременного паяния двух обмоток якорей с коллекторами диаметром от 70 до 130 мм. Цилиндрический чугунный бачок 5 разделен на два отделения стенкой со сквозным отверстием. На дне одной части бачка отлиты две бобышки 2 с отверстиями для конца вала якоря, на которые напрессованы чашки 3, рассчитанные на наибольший диаметр коллектора. На чашки кладут сменные кольца в зависимости от диаметра коллектора. Щели между коллектором и отверстием в кольце уплотняют асбестовым шнуром. В другой части бачка помещен пустотелый чугунный поршень 4, который, опускаясь в расплавленный припой, вытесняет его во вторую половину бачка. Направляющая 14 обеспечивает концентричное положение поршня при опускании при помощи рычага 8, на конце которого укреплен противовес 7. Рычаг 8 скреплен в стойке 9 и связан с поршнем через шарнирную вилку 10. При повороте рукоятки 11 штурвала движение через червячную пару 12 передается на поршень. Он опускает и поднимает уровень припоя. Ванна имеет футерованный каркас 13 и снабжена газовой горелкой. Она оборудована вытяжным зонтом 6 и поддоном 1 для собирания капель припоя. Применение ванны вместо паяльника позволяет повысить производительность труда и более экономно расходовать припой.

§81. Паяние твердыми припоями.

При паянии твердыми припоями для расплавления припоя применяют более эффективные методы нагрева, чем нагрев паяльником. В электромашиностроении ввиду того что вблизи места паяния находятся изолированные провода, нагрев должен производиться быстро и на небольшом пространстве. Соединяемые детали сжимают между угольными электродами, и пропускают через них электрический ток низкого напряжения.

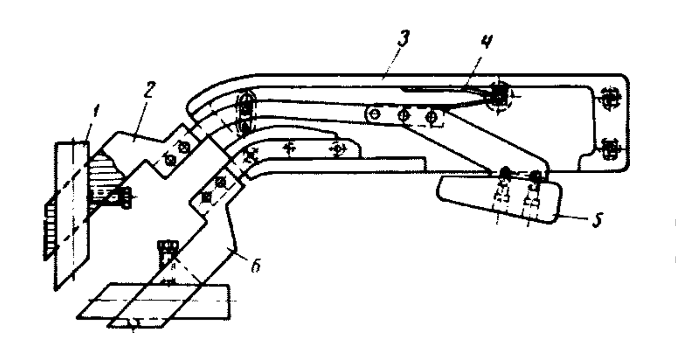


Рис. 165. Клещи для паяния твердыми припоями.

Клещи для электроконтактного нагрева при паянии твердыми припоями (рис. 165) имеют подвижную 2 и неподвижную губки, в которых зажаты графитовые электроды 1. Давление электродов на соединяемые детали происходит при нажиме на рычаг 5. Когда рычаг отпускают, губки расходятся под действием пружины 4. Ток от трансформатора подводится к губкам гибким проводом и включается ножной педалью. Механизм клещей заключен в пластмассовый корпус 3. Клещами можно пользоваться для паяния проводов сечением от 0,5 до 25 мм^2. Они имеют небольшой вес (0,5 кг.). Метод контактного электронагрева применяют и при паянии короткозамкнутых клеток ротора. Для этого один конец вторичной обмотки трансформатора присоединяют к валу, а другой – к угольному электроду, зажатому в электрододержателе. Электрод прижимают к торцу короткозамыкающего кольца вблизи стержня. Выступающий конец стержня расплавляется и заполняет углубление в кольце.

Для машин с нагревостойкой изоляцией применяют электроконтактное паяние обмотки якоря с коллекторными пластинами; (рис. 166). Твердый припой расплавляют в ванне при температуре 800°С под слоем древесного угля. Концы секций обмотки, очищенные от изоляции, погружают на несколько секунд в ванну для облуживания слоем припоя. Паяние якоря производят на специальном приспособлении, которое состоит из плиты 1 с двумя бабками 2 и 9. На неподвижной бабке 9 установлен шарнирный контакт 7 для подвода тока к пластине.

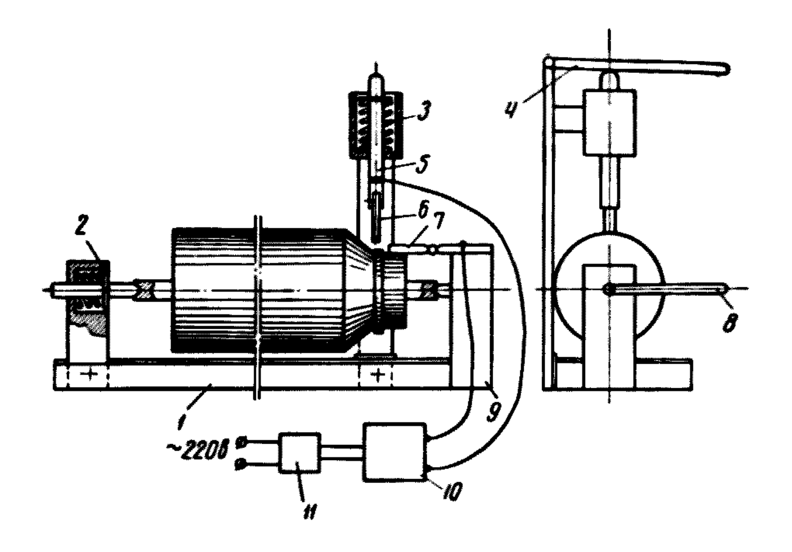


Рис. 166. Установка для паяния коллекторов твердыми припоями.

В электрододержателе 5 укреплен графитовый или вольфрамовый электрод 6, который опускается при подъеме рукоятки 4 и поднимается под действием пружины 3. Ток к контакту 7 и электроду 6 подводится от автотрансформатора 10 с вторичным напряжением 2В. В первичную цепь автотрансформатора включено реле времени 11, которое настраивается на необходимую продолжительность паяния. При установке якоря центр подвижной бабки отводится рукояткой 8. В процессе паяния накладывают на коллекторную пластину контакт 7 и опускают электрод до упора его рабочего конца в прорезь пластины. При этом припой на концах секций расплавляется и соединяет провод с пластиной.

§82. Сварка соединений в обмотках.

Кроме паяния, в обмоточном производстве применяют электрическую сварку. Сварка отличается от паяния тем, что при сварке соединяемые металлы доводят до пластического или жидкого состояния, в то время как при паянии они находятся в твердом состоянии. В обмоточном производстве применяют контактную сварку по методу сопротивления и дуговую. При контактной сварке металлы в местах соединений доводят путем нагрева до размягченного состояния, после чего сдавливают и соединяют свариваемые части. При дуговой сварке металлы доводятся до капельножидкого состояния и смешиваются в общей ванне. Процесс сварки может происходит с добавкой или без добавки присадочного металла.
Для соединения медных шин большого сечения в настоящее время почти исключительно служит контактная сварка встык по методу сопротивления, хотя раньше для этого применяли электродуговую сварку.
Электродуговую сварку используют для сварки концов скрученных проводов в статорных обмотках из круглого провода или для наплавки замыкающих колец в короткозамкнутых роторах небольшой мощности. Наплавку кольца производят в ванне между керамическими или графитовыми формами. В качестве присадочного металла применяют отходы коллекторной меди. Наплавка кольца дуговой сваркой освобождает от операций гибки и сварки колец, их обработки и сверления в них отверстий для стержней "беличьей клетки".
В обмотках из изолированных проводов электрическая сварка всюду уступила место паянию твердыми припоями, так как при этом изоляция более надежно защищена от повреждений.

§83. Лужение.

Лужение применяют для получения надежного, неокисляемого контакта. Лужению подвергают те детали, которые в дальнейшем будут спаяны. Это особенно необходимо в тех случаях, когда паяние должно производиться в узких щелях. Так, например, перед впаиванием концов проводов обмотки якоря в прорези коллекторных пластин предварительно облуживают концы проводов и стенки прорезей в коллекторных пластинах.
Существуют два способа лужения – электролитическое и горячее. Электролитическое лужение выполняют в ваннах с электролитом, через который пропускают постоянный ток низкого напряжения. Одним электродом являются изделия, которые требуется облудить, а другим – пластина олова. Электролитическое лужение применяют только для мелких деталей, при этом их связывают медной проволокой.
Концы шин, коллекторные пластины и другие детали лудят горячим способом, погружая их в ванну с расплавленным припоем. Паяние кабельных наконечников на тонких проводах также производят путем погружения в ванну с расплавленным припоем. Для лужения применяют малооловянистые припои ПОС – 18 и ПОС – 30. Перед лужением поверхности деталей очищают при помощи флюсов.
Особенно трудным является лужение алюминия. Ультразвуковое лужение, которым пользуются при паянии узких швов, непригодно для лужения больших поверхностей алюминиевых шин. На заводе "Динамо" разработан метод абразивного и абразивно – кристаллического лужения алюминиевых шин.
При лужении абразивным способом удаляют окисную пленку с поверхности алюминия и одновременно его облуживают абразивным кругом или карандашом, представляющим собой круг или стержень, спрессованный из стружки припоя и абразивного материала, например измельченного асбеста. При применении абразивного способа обеспечивается высокая производительность труда, стабильность слоя полуды, простота контроля облуженных поверхностей и использование припоев с различной температурой плавления. Недостатком абразивного способа лужения

является трудность лужения боковых поверхностей шин и невозможность лужения отверстий под болты. Для предохранения от коррозии необлуженных поверхностей приходится закрашивать их краской, причем краска не должна попадать на контактные поверхности, так как она увеличивает сопротивление контакта. Абразивно – кристаллический способ лужения позволяет получить слой полуды на всей поверхности шины и внутри отверстий. Окисная пленка с поверхности алюминия удаляется при помощи кристаллов, входящих в состав полужидкого припоя. При абразивно– кристаллическом лужении деталь перемещается относительно припоя. Силы трения, возникающие между поверхностью шины и твердыми кристаллами, разрушают окисную пленку, а очищенная поверхность облуживается жидкой составляющей припоя. Оба вида лужения производятся без флюсов, поэтому в припое отсутствуют включения остатков флюса и уменьшается интенсивность последующей коррозии.
Лужение абразивно – кристаллическим способом может быть почти полностью механизировано. Шины закрепляют на вибрирующей части приспособления с частотой колебаний 50 Гц. По окончании лужения шины вынимают из ванны. Излишки припоя удаляют ветошью, асбестовой тканью или окунанием в ванну с жидким припоем.

Контрольные вопросы.
1. Какие мягкие и твердые припои вы знаете?
2. Для чего применяют флюсы при паянии и лужении?
3. Какие типы паяльников используют при паянии обмоток?
4. Расскажите об устройстве ванны для паяния коллекторов.
5. Как производят паяние твердыми припоями?
6. В каких деталях применяют сварку в электромашиностроении?
7. Какие способы лужения используют при производстве обмоток?

Глава XIV
Пропитка обмоток.
§84. Назначение пропитки.

Надежность изоляции обмоток определяется не только свойствами самих электроизоляционных материалов, но и качеством их пропитки. Пропитка изоляционных материалов повышает их нагрево – и влагостойкость, электрическую и механическую прочность, химическую стойкость, улучшает их теплопроводность и защищает изоляцию от воздействия пыли, смазочных масел. Поэтому пропитка имеет очень важное значение в электромашиностроении. Повышение нагревостойкости электроизоляционных материалов после пропитки подтверждается тем, что одни и те же изоляционные материалы до пропитки относят к классу нагревостойкости Y, а после пропитки – к классу A, причем допустимая рабочая температура повышается с 90 до 105°C. Это объясняется тем, что в непропитанных целлюлозных материалах при температуре выше 90°C происходит ускоренное разрушение, связанное с окислительными процессами. Пропитка катушек с эмалевой изоляцией проводов повышает срок их службы в 3 – 4 раза.
Все волокнистые материалы, особенно целлюлозные, обладают способностью поглощать влагу из окружающей среды. При увлажнении изоляции ее диэлектрические свойства резко ухудшаются. Для повышения влагостойкости всякую изоляцию электрических машин необходимо пропитывать. Лаковая пленка затрудняет проникновение влаги в поры изоляции. Пропитка для повышения влагостойкости нужна не только волокнистым материалам, но и эмалевой изоляции проводов. Электрическая прочность непропитанных волокнистых материалов низка, так как их поры заполнены воздухом. При пропитке поры заполняются пропиточными составами и электрическая прочность изоляции значительно возрастает.

В обмотках высоковольтных машин в воздушных прослойках происходит ионизация воздуха, и выделяющийся озон разрушает органическую изоляцию. Воздушные прослойки в слюдяной изоляции вызывают вспухание и даже перерезание изоляции в местах ее выхода из паза и в вентиляционных каналах. Поэтому компаундирование для заполнения всех воздушных прослоек битумом обязательно.
Пропитка обмоток не только повышает механическую прочность самих изоляционных материалов, но также скрепляет витки обмотки, что предотвращает их износ в результате вибраций, электродинамических усилий и тепловых расширений проводов при работе электрических машин. Это имеет особое значение для многовитковых обмоток из тонких обмоточных проводов.
Под влиянием кислот и щелочей органическая изоляция очень быстро разрушается. Пропитка обмоток химически стойкими лаками защищает поверхность изоляции от действия химически активных частиц, что значительно повышает ее надежность.
Мощность электрических машин ограничена вследствие нагрева их обмоток. При работе машины основное тепло выделяется в активных ее частях и главным образом в обмотках. Нагрев обмоток при данном режиме работы машины зависит от того, насколько быстро тепло отводится от обмоток охлаждающим воздухом. Поэтому теплопроводность изоляции является очень важным свойством. В непропитанных обмотках прослойки воздуха значительно снижают теплопроводность изоляции, что ведет к сильному перегреву проводов. После пропитки теплоотдача от меди обмотки улучшается. Это позволяет увеличить плотность тока в проводах, экономить обмоточную медь и повысить срок службы машины. После пропитки на поверхность изоляции наносят пленки покровных лаков или эмалей, которые защищают изоляцию от воздействия смазочных масел и препятствуют осаждению на ней пыли и грязи, создающих проводящие мостики и ухудшающих охлаждение обмоток.

§85. Процессы сушки, пропитки и лакировки.

Изоляционные материалы при длительном хранении в помещениях с нормальной, а тем более с повышенной, влажностью поглощают влагу, которая снижает электрическую прочность изоляции и препятствует проникновению в нее пропиточного лака. Поэтому перед пропиткой изоляционные материалы и обмотки сушат. Исключением являются обмотки, пропитываемые в одноэмульсионных лаках, так как их растворитель (вода) хорошо смешивается с влагой изоляции и удаляется в процессе сушки после пропитки. Чем выше температура сушки, тем быстрее удаляется влага из обмотки, однако нельзя превышать температуру, определяемую нагревостойкостью изоляции, во избежание ее ускоренного "зрения. Значительно ускоряет процесс сушка под вакуумом. Черед вакуумной сушкой обмотки прогревают при атмосферном давлении.
Основным способом пропитки является пропитка погружением нагретой обмотки в лак. Проникновение лака в обмотку происходит в результате действия капиллярных сил и давления, оказываемого весом лака. Число пропиток выбирается в зависимости от условий эксплуатации машины, а также от применяемых изоляционных материалов. Пропитке подвергают изоляционные материалы, катушки обмоток и обмотанные части машин. При пропитке под вакуумом и давлением особенно эффективен так называемый тренировочный процесс, при котором лак попеременно по 3 – 5 мин находится под атмосферным давлением и давлением 7 – 8 атм.
После пропитки и стекания излишков лака снова сушат обмотки для удаления растворителей. Обмотки устанавливают в сушильную печь так, чтобы они лучше омывались горячим воздухом. Процесс сушки разделяется на две стадии: разогревание обмотки с удалением растворителей и запекание лаковых пленок. Степень сушки определяют по сопротивлению изоляции. Для снижения времени сушки кратковременно повышают температуру.

Обмотки, предназначенные для работы в тяжелых условиях, например при повышенной влажности или ионизации воздуха, компаундируют битумным компаундом. Процесс компаундирования состоит из сушки при атмосферном давлении и под вакуумом и пропитки при давлении 7 – 8 атм. При этом воздушные промежутки в изоляции уничтожаются путем опрессовки и заполнения их компаундом. Компаундирование намного повышает электрическую прочность изоляции, поэтому его применяют для всех высоковольтных машин. Температура нагрева микалентной изоляции определяется температурой разжижения компаунда.

Лакировка обмоток заключается в нанесении на их поверхность тонкого слоя покровного лака или эмали. Лучшее качество пленки получается при нанесении лака пульверизаторами. Чтобы получить толстые слои покровного лака, производят несколько покрытий с промежуточными сушками в печи или на воздухе. Для нанесения лака применяют специальные пистолеты–распылители, при помощи которых за 1 ч.. можно покрыть до 1000 м^2 поверхности. Они работают от сети сжатого воздуха под давлением 4 – 6 атм. Лак подается из специального бачка, находящегося на высоте 2 – 3 м. от пола. Расстояние от сопла до покрываемой поверхности 600 – 1000 мм., поэтому можно покрывать обмотки статора, находясь вне камеры распыления.

Обмотки сушат не только на заводах, но и при монтаже. Перед пуском машины после монтажа обмотки подсушивают. Для этого часто прибегают к пропусканию тока через обмотки. При внедрении пропитки в водоэмульсионных лаках, не являющихся пожароопасными, появилась возможность применять токовый метод сушки и в производстве электрических машин. Опыт, проведенный на некоторых заводах, показал, что при этом можно значительно снизить продолжительность сушки. Так, например, для статора электродвигателя единой серии А–42/4, по данным Дмитровского электромеханического завода, время сушки в печи с конвекционным нагревом составляло 19,5 ч., а при токовой сушке – только 2,7 ч. При этом расход электроэнергии сократился с 3,27 до 1,43 квт/ч. на один статор.

Нагревать обмотки можно как постоянным, так и переменным током. При переменном токе вследствие индуктивного сопротивления обмоток приложенное напряжение должно быть выше, чем при постоянном токе. При сушке в сушильных камерах нагрев распространяется от наружной поверхности внутрь обмотки, а при токовой сушке – от проводов наружу, что способствует лучшей сушке витковой изоляции.

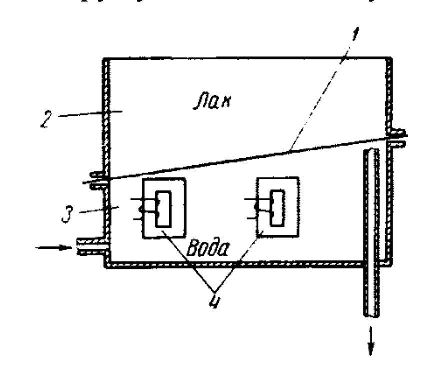



Рис. 167. Ванна для ультразвуковой пропитки.

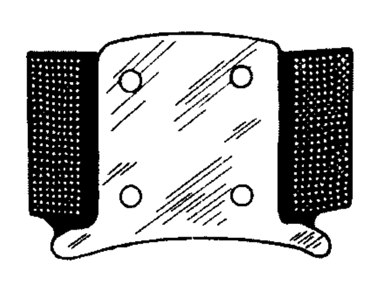


Рис. 168. Катушка, пропитанная вместе с полюсом.

Ускорение процесса пропитки достигается применением ультразвука. Для этого делают двухкорпусную пропиточную ванну, разделенную перегородкой 1 из фосфористой бронзы, играющей роль мембраны (рис. 167). Нижнее отделение 3 заполняют циркулирующей водой и помещают в нем излучатели 4, питаемые током высокой частоты, а в верхнем 2, наполненном пропиточным лаком, подвешивают пропитываемые детали. Время пропитки снижается с 2,5 ч. до 2 мин. Пропиточный лак проникает в мельчайшие поры и даже между листами сердечника и между пластинами коллектора.

Однако такое глубокое проникновение лака затрудняет процесс сушки в обычных печах. В этом отношении может помочь токовая сушка обмоток. Дальнейшая разработка методов пропитки и сушки должна идти по пути интенсификации этих процессов; Сочетание ультразвуковой пропитки с комбинированной сушкой в печи и пропусканием тока через провода позволит добиться еще более эффективных результатов в области пропитки и сушки обмоток электрических машин.

В последние годы значительно усовершенствована технология пропитки полюсных катушек. По существовавшей технологии полюсные катушки после намотки изолировали лентами в несколько слоев. Этот процесс, несмотря на внедрение изолировочных станков, имел технологические недостатки, особенно для катушек дополнительного полюса с узким внутренним отверстием. После изолировки катушки компаундировали и затем собирали на сердечники полюсов, закрепляя их во избежание вибрации на полюсах. При этом между сердечником полюса и внутренним окном катушки оставались зазоры до 4,5 мм. на сторону, что сильно снижало теплоотдачу от катушки к магнитопроводу.

По новой технологии катушки после намотки оплетают стеклянной лентой для стягивания витков, затем помещают вместе с полюсом в специальную форму и пропитывают различными составами на эпоксидных смолах (рис. 168). Для повышения теплопроводности в качестве наполнителя применяют кварцевый песок. Испытания катушек, изготовляемых по новой технологии, дали хорошие результаты. Значительно повысилась влагостойкость и виброустойчивость катушек, снизилась температура нагрева. Анализ результатов испытаний подтвердил возможность изменить конструкцию катушек, уменьшив их размеры, что даст большую экономию изоляционных, активных и конструкционных материалов.

§86. Оборудование для пропитки и сушки.

Обмотки электрических машин сушат и пропитывают в сушильно – пропиточных установках (сокращенно СПУ), которые делят на установки периодического и непрерывного действия.

Установки периодического действия могут быть приспособлены для обмоток разнообразной конструкции, поэтому их широко применяют в электромашиностроении при мелкосерийном производстве. Основным оборудованием СПУ периодического действия являются пропиточные ванны, сушильные печи и транспортные устройства. Для вакуумной пропитки или сушки установку оборудуют автоклавами и вакуум–сушильными шкафами. Изделия загружают в автоклав, который герметически закрывают, после чего в нем создается разрежение вакуумными насосами. Засасывание лака из наружного резервуара производится атмосферным давлением. Пропиточный лак в ванны подается только на время пропитки. Это уменьшает потери растворителя от испарения и устраняет образование воздушных пузырьков внутри обмотки. Пропиточные ванны имеют систему отсосов для удаления вредных паров растворителей, а также систему аварийного слива лака в случае его загорания. Изделия погружают в ванну на специальных подвесках. Для подачи на сушку пропитанных изделий служат тележки, вкатываемые в камеру печи при помощи пневматического или механического привода. Тепловые агрегаты сушильных установок состоят из калориферов, вентиляторов и системы воздуховодов. Для снижения потерь тепла предусматривается частичная рециркуляция отработанного воздуха. Калориферы бывают с паровым и электрическим нагревом. Паровые калориферы применяются преимущественно в непрерывно работающих установках при невысокой температуре сушки. Электрокалориферы обеспечивают более высокую температуру нагрева, обладают малой тепловой инерцией и допускают автоматическое регулирование температуры. Они имеют трубчатые или другого типа электронагреватели, соединенные параллельно.

Вентиляторы применяют как осевые, так и центробежные. Для обеспечения взрывобезопасности кожухи вентиляторов изнутри обшивают листами цветного металла, чтобы при задевании лопастей вентилятора не получалось искр. Воздуховоды изготовляют из листовой стали с теплоизоляцией. Температура измеряется обычно термометрами сопротивления. Система сигнализации подает звуковой или световой сигнал при какой–либо неисправности установки.

При погружении обмотанных статоров в ванну с лаком происходит обильное выделение паров растворителей, ухудшающих условия труда. Кроме того, изоляционный лак расходуется на покрытие наружной поверхности станины двигателя. Эти недостатки устраняются при пропитке статора изнутри, применяемой на некоторых заводах.

Обмотанный статор 9 ставят на крышку бака 1, которая имеет отбортовку (рис. 169). В центре крышки вварена труба 2, сообщающаяся с лаком. Между крышкой бака и торцом станины проложено уплотнение 3. К рабочему месту подведен сжатый воздух давлением 4,5 – 5 атм. и вытяжная вентиляция 8. Пропиточный лак поступает в бак 1 из отдельного резервуара, который по соображениям пожарной безопасности вынесен в другое помещение.

Для пропитки обмотки поднимают уровень лака давлением сжатого воздуха настолько, чтобы лак покрывал всю обмотку и не доходил на 2 – 3 см до верхней кромки станины. В процессе пропитки коробку выводов станины закрывают заглушкой. Окончив пропитку, выпускают лак обратно в бак 1, снимают заглушку с коробки выводов и дают стечь излишкам лака. После выдерживания в течение 40 мин статор направляют на тележке в сушильную камеру.

В этой же установке можно производить пропитку обмотки под давлением. При этом сжатый воздух подается в бак 1 и в пневматический цилиндр 5, прижимающий крышку 4 к верхнему торцу станины. Крышку подводят поворотом траверсы 7, укрепленной на колонке 6. Винтовое соединение крышки с цилиндром 5 позволяет регулировать ее положение для станин с разной высотой.

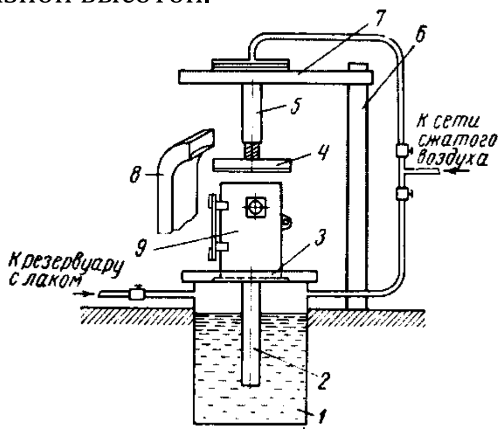


Рис. 169. Установка для пропитки статора.

При использовании установок периодического действия требуются затраты труда на загрузку и выгрузку изделий, промежуточные склады для пропитываемых статоров и роторов; кроме того, не обеспечивается стабильность технологического процесса.

Поэтому при крупносерийном и массовом производстве применяют пропиточно–сушильные установки непрерывного действия. Их выполняют с автоматическим управлением технологическим процессом, при котором относительная продолжительность различных операций определяется соотношением конструктивных размеров установки. По конструктивному выполнению большая часть сушильно–пропиточных установок представляет собой цепной конвейер. В установках этого типа изделия подвешивают на подвесках, связанных с каретками, катящимися по монорельсовому пути. Каретки связаны цепью, которая приводит их в движение.

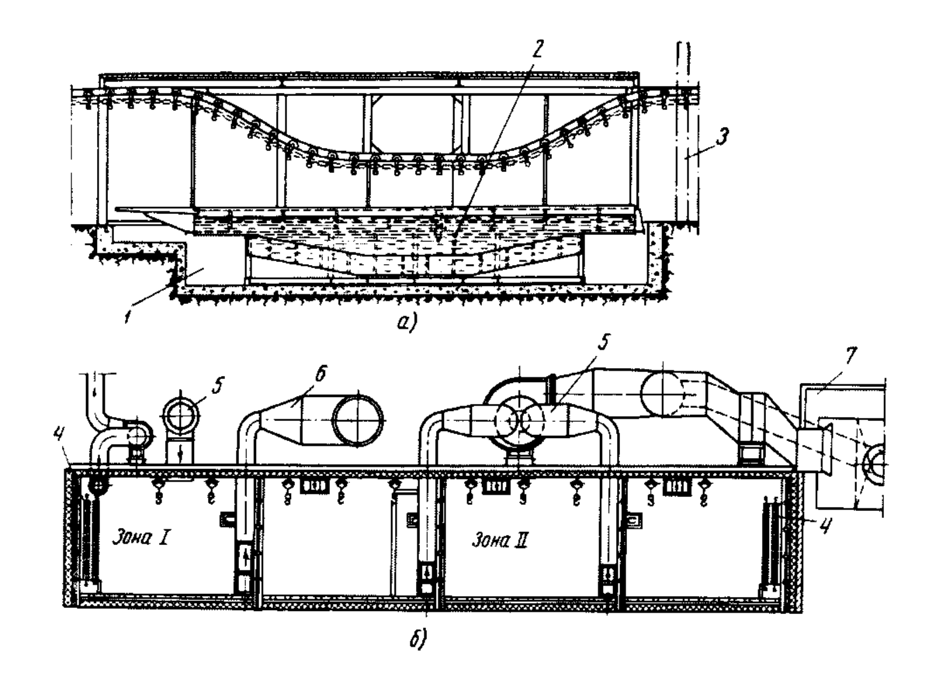


Рис. 170. Установка для непрерывной пропитки:
а – разрез пропиточной ванны, *б* – разрез сушильной печи.

На рис. 170 показаны продольный разрез пропиточной ванны и поперечный разрез сушильной печи пропиточно – сушильного конвейера завода "Динамо" для статоров и роторов крановых электродвигателей. Пропитку производят в водоэмульсионном лаке 2, что позволяет расположить ванну 1 непосредственно в обмоточном цехе (рис. 170*а*). Сушильная печь имеет две зоны (рис. 170*б*). В зоне 1 происходит предварительная сушка после пропитки при температуре 90 – 100°С, а в зоне 11 – окончательная сушка и запечка лака при температуре 130 – 135°С. Для поддержания необходимой температуры в зоне 1 вдоль боковой стенки установлены батарея 4 из труб, нагреваемых паром, а также паро–калорифер 5, размещенный на крыше печи. Воздух через калорифер и трубы прогоняется вентилятором, который забирает его из нижней части зоны 1 и выбрасывает в верхнюю часть зоны. Над зоной 1 установлен вентилятор 6 для выброса части воздуха в атмосферу, чтобы снизить концентрацию паров растворителей.
Зона 11 обогревается тремя источниками тепла: батареями 4, обогреваемыми паром, парокалорифером 5, установленным на крыше печи, и электрокалорифером 7, размещенным в пристроенном к печи помещении.
Из нижней части зоны 11 воздух засасывается вентилятором и далее идет в смеситель через паро – и электрокалориферы, а затем по трубам в верхнюю часть зоны II**.** На торце печи имеются два окна 3 (рис. 170, а) для входа и выхода изделий, которые для уменьшения потерь тепла снабжены шторками из листовой резины. Пропиточная ванна установлена в бетонированном углублении в полу цеха. К торцу ее пристроен лоток с наклонным дном для стекания лака.
Применение пропиточно–сушильного конвейера позволило создать жесткий режим пропитки и сушки и повысить качество пропитки. При этом достигается большая экономия электроэнергии, сокращаются транспортные расходы и улучшаются санитарные условия работы.

§87. Компаундирование обмоток.

Полюсные катушки и катушки статоров высоковольтных машин компаундируют в специальных котлах (автоклавах) с двойными стенками, между которыми циркулирует теплоноситель, обеспечивающий при компаундировании температуру 170°С. Расположение агрегатов установки для компаундирования схематически показано на рис. 171.

Детали, подвергающиеся компаундированию, опускают в проволочных сетках в автоклав 16 с герметически закрывающейся крышкой, которая уплотняется свинцовой прокладкой. Автоклав имеет двойные стенки, между которыми циркулирует пар под давлением не ниже 8 *ат*. Для нагрева автоклава применяют также масло, нагреваемое электрическими сопротивлениями.

Рядом с автоклавом помещен смесительный котел 1 также с двойными стенками, между которыми циркулирует теплоноситель. Битумная масса в смесительном котле находится в нагретом жидком состоянии. Все трубопроводы, по которым проходит масса, также снабжены рубашками с подогревом во избежание затвердевания массы и закупорки трубопроводов.

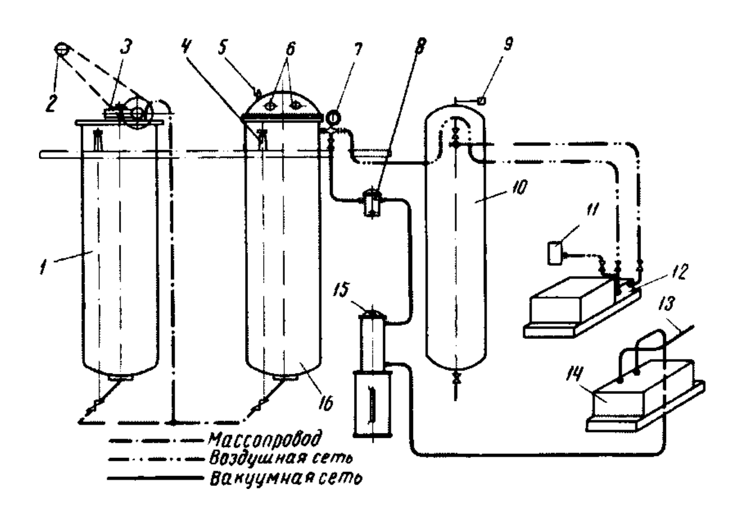


Рис. 171. Схема установки для компаундирования.

В верхней части смесительного котла установлена червячная передача 3 мешалки, приводимая во вращение от шкива 2 электродвигателя. Вращение мешалки препятствует осаждению твердых частей битумной массы на дно смесительного бака и обеспечивает однородный нагрев массы. На крышке автоклава установлен вентиль 5 для выпуска воздуха и смонтированы смотровые окна со стеклами 6 для наблюдений за процессом компаундирования, происходящим в автоклаве. На боковой стенке автоклава установлен мановакуумметр 7 для измерения давления или разрежения внутри автоклава.

Разрежение в автоклаве создается при помощи вакуум – насоса 14, который выбрасывает воздух через выхлопную трубу 13. Для предохранения вакуум – насоса от загрязнения битумной массой в трубопроводе встроен маслоулавливатель 8, а за ним – конденсатор 15. Вакуум – насос может создать в автоклаве сильное разрежение (до 20 мм. рт. ст.). Но производительность его мала, поэтому сначала воздух откачивают при помощи компрессора 12, переключив его посредством кранов на всасывание, а затем включают вакуум – насос.

Компрессор забирает воздух через фильтр 17, улавливающий влагу и пыль, взвешенные в окружающем воздухе. Компрессор может быть соединен с автоклавом непосредственно или через воздушный резервуар 10 для ускорения создания давления в автоклаве при пропитке. Резервуар оборудован предохранительным клапаном 9 для защиты его от разрыва при повышенном давлении. Все агрегаты установки соединены трубами, из которых одни являются массопроводами, другие – воздушной сетью, третьи составляют вакуум – сеть для создания разрежения. На схеме они обозначены условными линиями. Штурвалы 4 служат для управления кранами маслопроводов.

Процесс компаундирования требует точного выдерживания режима. При слишком высокой температуре битумной массы она легко проникает в глубь обмотки, но изоляция остается недопрессованной, при слишком низкой температуре изоляция обмотки хорошо прессуется, но масса не проникает в поры изоляции.

Так как компаундная масса более густая, чем пропиточные лаки, то для проникновения ее в поры изоляции и в промежутки между слоями изоляции необходимы специальные режимы, отличные от режимов пропитки. Для компаундирования полюсных катушек необходимо:
уложить катушки в проволочную сетку; загрузить автоклав катушками и прикрыть крышку автоклава, не затягивая ее болтами; сушить катушки в автоклаве в течение 3 ч; плотно затянуть болтами крышку автоклава; создать в автоклаве вакуум при помощи вакуум – насоса и сушить катушки под вакуумом в течение 2 ч.; подать в автоклав битумную массу из мешалки; впустить в автоклав воздух; поднять давление в автоклаве посредством компрессора до 6 атм. и поддерживать его в течение 5 ч.; выпустить битумную массу из автоклава в мешалку, продуть массопровод и дать стечь массе в течение 0,5 ч.; открыть крышку автоклава, вынуть сетку с катушками; снять с неостывших катушек временную ленту с налипшей битумной массой. При нагреве до температуры 105°С битумная масса размягчается и при дальнейшем нагреве от нее начинают отделяться капли.
Во избежание разбрызгивания битумной массы под действием центробежной силы при вращении ротора или якоря компаундирование не применяют для вращающихся обмоток. Низкая температура плавления битумной массы ограничивала температуру нагрева обмоток более низкими пределами, чем могут выдержать изоляционные материалы классов В и F. В настоящее время разработан и применяется компаунд с рабочей температурой 130°С.

§88. Противопожарные мероприятия в сушильно – пропиточных цехах.

Основными требованиями противопожарной безопасности в сушильно–пропиточных цехах являются следующие: категорически запрещается применять открытый огонь и курить; категорически запрещается сушить одежду на паропроводах; для тушения пожара должна быть установка для подачи пара и пенный огнетушитель; при работе с лакораспылителем необходимо включить вентиляцию и следить за показаниями манометра, не допуская повышения установленных давлений; при ремонте, монтаже и транспортировке пропиточных, смесительных котлов и других аппаратов нельзя допускать образования искр от удара стальных инструментов и деталей, так как они могут вызвать взрыв паров растворителей; исправность противопожарного оборудования надо периодически проверять.

Контрольные вопросы.
1. Какое назначение имеет пропитка обмоток?
2. Какие существуют способы сушки обмоток?
3. Какое достоинство имеет пропитка катушек вместе с полюсом?
4. Расскажите об устройстве установки для пропитки статоров.
5. Как устроен пропиточно – сушильный конвейер?
6. Из каких частей состоит установка для компаундирования обмоток?
7. В чем заключаются противопожарные мероприятия в пропиточных цехах?

Глава XV
Крепление обмоток якорей и роторов.
§89. Назначение бандажей и пазовых клиньев.

При вращении якорей и роторов развиваются центробежные силы, которые стремятся выбросить обмотку из пазов и отогнуть лобовые части. Центробежные силы пропорциональны величине вращающихся масс и квадрату скорости вращения. Например, при диаметре якоря 500 мм. и скорости вращения 1000 об/мин. центробежная сила в 250 раз больше массы обмотки.

При увеличении скорости до 2000 об/мин. центробежная сила увеличится в четыре раза и к каждому килограмму массы на окружности якоря будет приложена сила 1 Т. Лобовые части всех обмоток, за исключением обмоток роторов турбогенераторов, удерживаются от отгибания под действием центробежных сил проволочными бандажами. Что касается пазовых частей, то они могут крепиться в пазах, как бандажами, так и клиньями. Это зависит от формы паза. Пазовые части обмоток при закрытых, полузакрытых и полуоткрытых пазах крепят клиньями из дерева, текстолита или пластмассы (см. рис. 1 *а*, *б*, *в*).
При открытой форме паза применяют как клинья (см. рис. 1*д*), так и бандажи (см. рис. 1*г*). Обычно бандажи при открытых пазах используют только в машинах небольшой мощности с диаметром якоря до 300 мм, так как они занимают меньше места по высоте паза. Крупные машины выполняют всегда с пазовыми клиньями. Клинья хорошо защищают обмотку в пазах от загрязнений, создается небольшое давление обмотки на каждый сантиметр площади клина и в клиньях отсутствуют потери на вихревые токи при вращении якоря в магнитном поле. Клинья применяют также для крепления в пазах статорных обмоток машин переменного тока. Статорные обмотки хотя и не подвержены действию центробежных сил, но должны быть прочно закреплены в пазах для защиты от перемещений под действием электродинамических сил.

§90. Бандажировочные станки.

Бандажировочные станки относятся к нестандартному оборудованию и изготовляются заводами для собственных нужд на базе старых токарных станков. Бандажировочные станки должны быть снабжены динамометрами для контроля за натяжением проволоки и тормозами для предохранения от ослабления натяжения проволоки при остановке станка. На рис. 172 показана схема бандажировочного станка нестандартного типа. Бандажируемый якорь 3 ставят в центры станка и приводят во вращение поводковой шайбой 5. На обод планшайбы наложена лента 4 тормоза, которая нормально держит планшайбу в заторможенном состоянии под действием пружины 9 на конце рычага 8. Растормаживание производится ножной педалью 1 через трос 13, огибающий направляющий ролик 11. В процессе намотки педаль все время должна быть нажата. Пружина 2 служит для возвращения педали в исходное положение. С этой педалью при помощи троса 14 связано управление фрикционной муфтой 10. Муфта и тормоз сблокированы так, что при отпускании тормоза муфта включается, а при затормаживании выключается. Тормоз обеспечивает постоянное натяжение проволоки при останове станка. Бандажная проволока с бухты 17 проходит через фетровые прокладки 16, стянутые стальными пластинами, натяжные ролики 15 и через направляющие ролики 7 подводится к окружности якоря. На рисунке прохождение проволоки показано стрелками.
Натяжение проволоки регулируется силой сжатия прокладок 16 и количеством роликов 15, которые огибает проволока. Натяжение проволоки контролируется динамометром 6, к крюку которого подвешена обойма ролика 7, огибаемого проволокой. Продольная подача проволоки при намотке бандажей сообщается передвижением суппорта. Станок приводится в действие от электродвигателя 12, мощностью 1,5 кВт при 1420 об/мин. Бандажируемый якорь вращается со скоростью 27 об/мин. Бандажировочные станки нестандартного типа имели несовершенные механизмы и изготовление их обходилось дорого. Специализация заводов на определенные типы электрических машин и увеличение выпуска потребовали более совершенных бандажировочных станков. Таких станков разработано несколько типов в зависимости от размеров якорей. Их снабжают более надежными механизмами натяжения бандажной проволоки; проволоку пропускают в виде восьмерки через желобки двух барабанов с параллельными осями. При намотке многовитковых бандажей пользуются счетчиками оборотов, что освобождает бандажировщика от необходимости считать намотанные витки.

Шпиндели этих станков имеют бесступенчатые вариаторы для изменения скорости вращения шпинделя. Это позволяет для каждого типа якоря установить наиболее рациональную скорость вращения. На суппорте станка имеется специальное отрезное устройство для отрезания концов стержней обмотки якоря, выступающих из петушков коллекторных пластин.
Поскольку паяние бандажей производят без снятия якоря с бандажировочного станка, он оборудован вытяжной вентиляцией для удаления паров, выделяемых при паянии. Типовые бандажировочные станки изготовляются серийно специальными заводами, что снижает их стоимость и повышает качество.

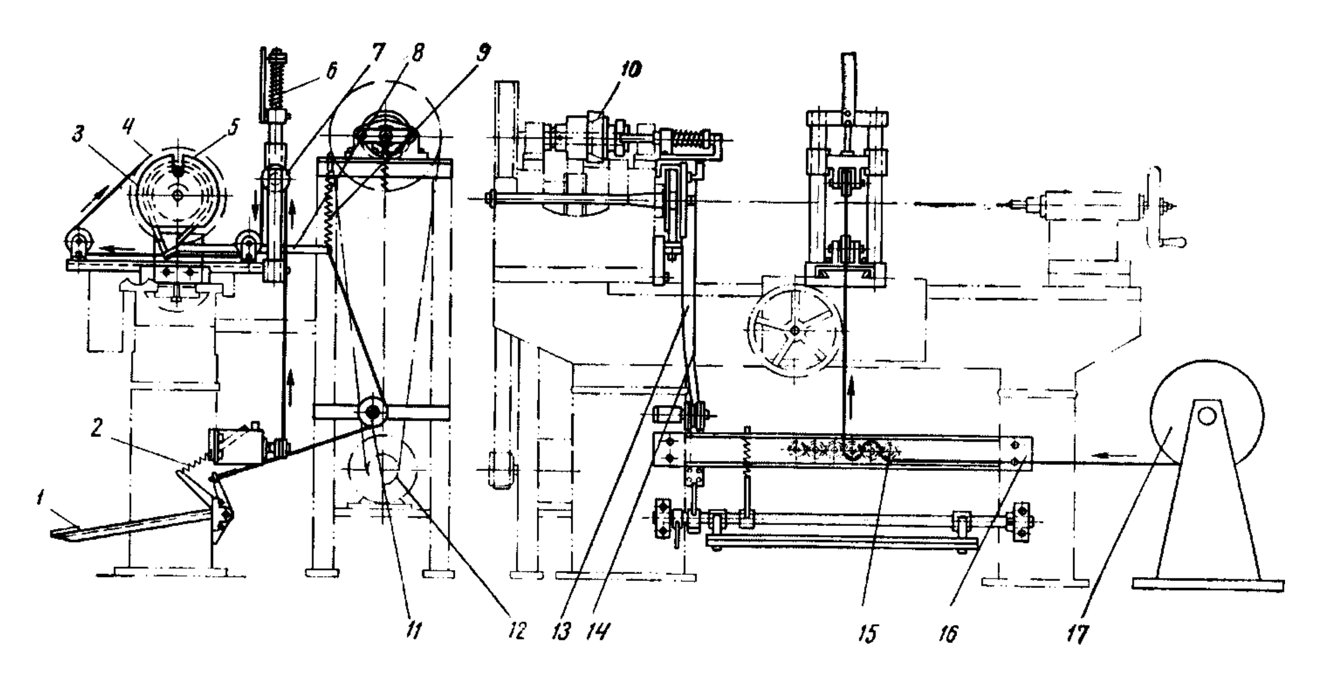


Рис. 172. Схема бандажировочного станка.

§91. Намотка проволочных бандажей.

Бандажи наматывают из специальной луженой стальной проволоки, обладающей высокой механической прочностью (180 кг/мм^2). Бандажная проволока поступает на завод в бухтах и имеет диаметры от 0,2 до 2,5 мм. Проволочные бандажи наматывают с большим натяжением, которое контролируется динамометром. В результате натяжения проволоки при намотке обмотка прижимается к дну паза с большей силой, чем центробежная сила при вращении ротора, благодаря чему обмотки не перемещаются в пазах.
Величина натяжения указана в табл. 6, в которой приведены также диаметры проволоки в зависимости от диаметра якоря. Зависимость диаметра проволоки от диаметра якоря объясняется тем, что с увеличением диаметра якоря растет окружная скорость.
В крупных машинах бандажи на лобовых частях могут быть намотаны в несколько слоев. В этом случае натяжение проволоки в каждом следующем слое должно быть меньше, чем в предыдущем (табл. 6). Если бы все слои наматывали с одинаковым натяжением, то большая часть нагрузки от центробежной силы пришлась бы на последний слой.
В многослойных бандажах между слоями прокладывают изоляцию из асбестовой бумаги для снижения потерь на вихревые токи в сечении бандажа. При намотке многослойных бандажей каждый слой наматывают и пропаивают отдельно. Намотку первого слоя ведут от сердечника якоря к коллектору, второго – в обратную сторону и т. д. Такой порядок намотки исключает выпучивание лобовых частей обмотки у торца сердечника.

Таблица 6. Натяжение бандажной проволоки при намотке бандажей.

Диаметр якоря, мм.	Диаметр проволоки, мм.	Натяжение, кг., проволоки при намотке			
		временного бандажа	основного бандажа		
			1 слой	2 слой	3 слой
От 100 до 200	0,8	40 – 60	35 – 55	30 – 50	30 – 45
От 201 до 400	1	65 – 90	55 – 80	50 – 80	45 – 70
От 401 до 600	1,2	95 – 130	80 – 120	75 – 1 15	65 – 105
От 601 до 1000	1,5	140 – 230	125 – 185	115 – 175	100 – 165
Свыше 1000	2	250 – 360	220 – 330	205 – 315	180 – 290

Иногда при временном отсутствии бандажной проволоки данного диаметра приходится ее заменять проволокой другого диаметра. При этом необходимо учитывать, что прочность каждого витка зависит от квадрата диаметра. Например, если по расчету бандаж должен состоять из 50 витков проволоки диаметром 1,2 мм, а имеется проволока диаметром 1 мм, то вместо 50 витков надо намотать: $50 \times (1{,}2^2 / 1^2) = 72$ витка. При этом увеличится и ширина бандажа, которая при диаметре проволоки 1,2 мм. была 1,2 × 50 = 60 мм, а теперь стала 1 × 72 = 72 мм. Поэтому перед намоткой надо проверить, уложится ли этот бандаж на лобовых частях обмотки.

Для намотки бандажей на сердечник якоря на нем образуют канавки путем набора части листов уменьшенного диаметра. Ширина бандажей на сердечнике якоря должна быть не более 25 – 30 мм. во избежание больших потерь на вихревые токи в сечении бандажей. Чтобы витки обмотки не замыкались проволочными бандажами, под них подкладывают изоляцию из полосок электрокартона при классе изоляции А или гибкий миканит и электрокартон при классе В. Перед намоткой бандажа на лобовую часть сначала стягивают обмотку временными бандажами из 4 – 5 витков у сердечника якоря и у петушков коллектора. Затем снимают временные бандажи, отпускают тормоз станка и закрепляют начало проволоки за деревянный клин, вставленный между катушками обмотки около сердечника.

Под первый виток кладут заготовленную изоляцию и требуемое по чертежу число полосок белой жести для скрепок витков бандажа (рис. 173*б*). Для закрепления конца и начала бандажа кладут две полоски на расстоянии 10 – 30 мм. одну от другой. Начало и конец бандажа должны перекрываться (рис. 173*г*), чтобы на этом участке бандаж не был ослаблен на один виток. После намотки первого витка его огибают скобочкой (рис. 173*а*) и на нее мотают следующие витки. Конец бандажа после запаивания и отрезания его от бухты вводят в заготовленное ушко скрепки (рис. 173*в*). Во избежание разматывания конец и начало проволоки загибают (рис. 173*г*). Бандажи на пазовые части наматывают одним куском проволоки с переходными витками от одного бандажа к другому.

После закрепления начал и концов переходные витки вырезают кусачками. При расчете бандажей считают, что напряжения между всеми витками распределяются равномерно. Однако в действительности это не так. Вследствие неизбежных колебаний натяжения проволоки при намотке большим напряжениям будут подвержены те витки, которые намотаны с большим натяжением. Обычно наибольшие напряжения приходятся на последние витки у переходных витков.

Практика эксплуатации показывает, что при недостаточно надежной заделке последних витков разматывание, разрывы бандажей начинаются именно с них. Разматывание бандажа, если его вовремя не заметить, приводит к тому, что обмотка якоря выступает из пазов или поднимается над обмоткодержателями и задевает за полюса. Это полностью выводит машину из строя. Чтобы избежать таких аварий, все витки бандажа пропаивают по всей окружности якоря. Эта операция значительно усложняет технологический процесс и ведет к большому расходу дорогих припоев.

Процесс паяния вредно отражается на состоянии изоляции обмотки, вызывая ее ускоренное старение. Замыкание витков бандажа припоем увеличивает потери на вихревые токи. На рис. 174 показана заделка начала и конца двухслойного бандажа на лобовых частях обмотки якоря. Первый и последний витки бандажа сцепляются петлями и удерживаются тремя скрепками каждый. Соединение получается настолько надежным, что можно отказаться от пропаивания бандажа по всей окружности.

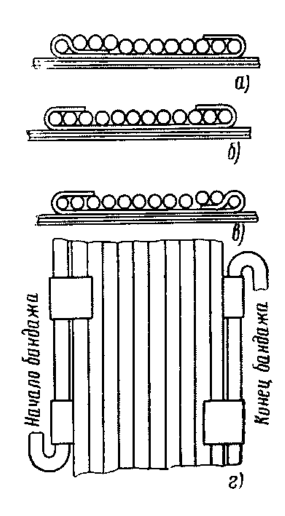


Рис 173 Заделка концов бандажа:
а – начало бандажа, *б* – промежуточная скрепка, *в* – конец бандажа,
г – расположение скрепок для начала и конца бандажа.

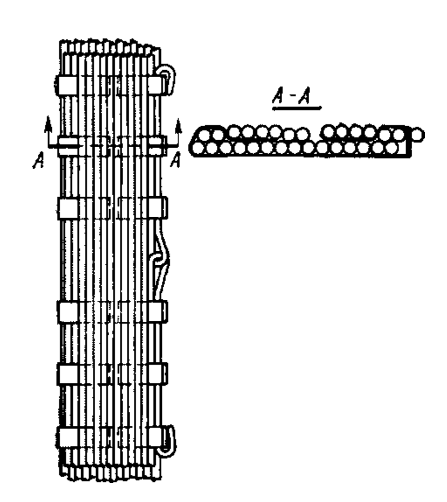


Рис. 174. Заделка концов двухслойного бандажа.

§92. Расчет бандажей.

Расчет обычно ведут отдельно для пазовой части якоря и для лобовых частей на максимальное число оборотов $n_{макс}$, которое может иметь якорь или ротор при работе машины. Для асинхронных двигателей, генераторов постоянного тока и синхронных машин можно брать nмакс = 1,3 nном. Номинальное число оборотов nном обозначают на щитке, прикрепленном к корпусу машины. Для двигателей постоянного тока с параллельным возбуждением берут nмакс = 1,5 nном, а для двигателей с последовательным возбуждением nмакс = 3 nном. Сначала следует определить вес обмотки, лежащей в пазах, который рассчитывают по формуле:

$$G\text{п} = 0{,}0116 \times a \times b \times s\text{п} \times z \times l \quad \text{кг.} \ (38)$$

где: a и b – размеры сторон прямоугольного провода, см., sп – общее число проводов в пазу, z – число пазов, l – длина якоря без лобовых частей, см.
Затем выбирают диаметр бандажной проволоки d по табл. 6. Число витков всех бандажей, намотанных на сердечник якоря, определяют по формуле:

$$w = 1{,}2 \times \frac{G\text{п} \times (D - h\text{п})}{d^2 \times 3000} \times \left(\frac{n\text{макс}}{1000}\right)^2 \quad (39)$$

где D – диаметр якоря, см.; hп – глубина паза, см.
Вес лобовой части обмотки с одной стороны якоря рассчитывают по формуле:

$$G\text{л} = \frac{0{,}012 \times D}{p} \times a \times b \times s\text{п} \times z \quad \text{кг.} \quad (40)$$

где p – число пар полюсов.

Подставив Gл вместо Gп в формулу (39), получают число витков бандажа на лобовой части. Рассчитаем бандажи генератора со следующими данными:

D = 620 мм., z = 56, sп =4, a = 4,1 мм., b = 12,5 мм.
p = 3, nном =1000 об/мин., h =40 мм, l =300 мм.

Вес обмотки лежащей в пазах:

$$G\text{п} = 0{,}016 \times 0{,}41 \times 1{,}25 \times 4 \times 56 \times 30 = 40 \text{ кг.}$$

По табл. 6 выбирают диаметр проволоки 1,5 мм.
Общее число витков всех бандажей на сердечнике якоря:

$$w = 1{,}2 \times \frac{40 \times (62-4)}{1{,}152 \times 3000} \times \left(\frac{1300}{1000}\right)^2 = 70 \text{ витков}$$

Вес лобовой части обмотки:

$$G\text{л} = \frac{0{,}012 \times 62}{3} \times 0{,}41 \times 1{,}25 \times 4 \times 56 = 28 \text{ кг.}$$

Число витков бандажа на каждой из лобовых частей:

$$w = 1{,}2 \times \frac{28 \times (62-4)}{1{,}15^2 \times 3000} \times \left(\frac{1300}{1000}\right)^2 = 49 \text{ витков.}$$

§93. Бандажи из стеклоленты.

Тяговые электродвигатели следует отнести к числу машин, работающих в очень тяжелых условиях. Это машины на повышенное напряжение до 1500 В, заключенные в очень тесные габариты, поэтому недостатки проволочных бандажей, отмеченные выше, особенно себя проявляют именно в этих электродвигателях. Лобовые части этих двигателей имеют очень малый вылет и на них надо расположить многовитковые бандажи. Вследствие этого бандажи нередко сползают с лобовых частей, продавливают изоляцию катушек и создают проводящие мостики на поверхности якоря.

В тяговых электродвигателях, у которых проволочные бандажи заменены бандажами из нетканой стеклоленты, пропитанной полиэфирной смолой в полуотвержденном состоянии, сечение бандажей увеличивают в два раза по сравнению с сечением проволочных бандажей.

При бандажировании ленту натягивают, чтобы создать в ней необходимое предварительное натяжение. Упругость стеклоленты примерно в пять раз меньше, чем стальной проволоки, поэтому очень важно правильно подобрать предварительное натяжение. Оно должно вызывать в ленте меньшее напряжение, чем напряжение, создаваемое максимальной центробежной силой при вращении якоря.

Перед бандажированием якорь нагревают до температуры 100°С. При этом смола в стеклоленте размягчается и избыток ее выступает на поверхность ленты. Для намотки бандажей из стеклоленты требуется переделка бандажировочного станка, заключающаяся в замене устройства для натяжения проволоки натяжными шкивами, роликами и укладчиком ленты. Скорость бандажирования стеклолентой может быть в несколько раз больше, чем стальной проволокой. Если накладываемый бандаж должен перекрывать широкие промежутки между проводами обмотки, то их закладывают полосками из слоистого материала толщиной около 0,4 мм., чтобы нижние слои ленты не вдавливались в эти промежутки.

Заделку концов бандажей осуществляют двумя способами. При большом числе витков последний виток захватывают рукой, отделяют от нажимного устройства и позволяют ленте скользить вдоль бандажа до тех пор, пока она не станет удерживаться трением. При бандажах из небольшого числа витков последний виток нагревают горячим утюгом, ускоряя полимеризацию смолы. После этого ленту отрезают вблизи полимеризованного участка. Окончательную термообработку бандажей производят путем выдерживания в течение 4 – 6 ч. при температуре 125°С. Перед загрузкой якоря в печь бандажи покрывают лентой для защиты от окисляющего действия горячего воздуха. Опыт эксплуатации показал, что бандажи из стеклоленты надежнее стальных. За время эксплуатации не наблюдалось случаев ослабления бандажа, и количество повреждений электродвигателей из–за аварий электрической части значительно снизилось. Во Всесоюзном электротехническом институте им. В. И. Ленина (ВЭИ) получен на эпоксиднофенольной смоле стеклопластик, применяемый для бандажирования якорей тяговых электродвигателей заводов "Электротяжмаш" и "Динамо".

§94. Крепление обмоток в пазах клиньями.

Обмотки крепят в пазах клиньями у якорей с полузакрытыми пазами, а также у якорей крупных машин с открытыми пазами. Для якорей с открытыми пазами заранее заготовляют клинья трапецеидального сечения. Клинья делают из твердых пород дерева (бука, березы) или текстолита. Для клиньев нужно применять высушенное дерево, так как сырые клинья в процессе работы усыхают и могут выскочить из пазов. Дерево сушат в специальных сушильных печах или токами высокой частоты. Для клиньев выбирают бруски дерева без всяких пороков (сучьев, трещин, расслоений). Бруски на заготовки клиньев режут под углом 30° к растительным слоям во избежание скалывания слоев при забивании клина в паз.

В крупных машинах с длинными сердечниками в каждый паз забивают несколько коротких клиньев. При крупносерийном производстве требуется большое количество пазовых клиньев. Поэтому на многих заводах электропромышленности процесс заготовки клиньев механизирован. На рис. 175 показана схема станка для изготовления клиньев. Производительность станка более 10 тыс. клиньев за смену. Поперечное сечение клина образуется на станке профильной фрезой с несколькими канавками, имеющими форму клина. В зависимости от размеров клина и доски одновременно можно фрезеровать от пяти до восьми клиньев.

Фреза 1 укреплена на вертикальном шпинделе станка и фрезерует профили клиньев 4 на кромке доски 2, которую продвигают по плите станка. За фрезой на горизонтальном шпинделе укреплена круглая пила 3, которая отрезает клинья по всей длине доски. После отрезки клиньев доску вновь подают под фрезу и процесс продолжается. Полученные профилированные полоски разрезают на куски заданной длины на этом же станке.

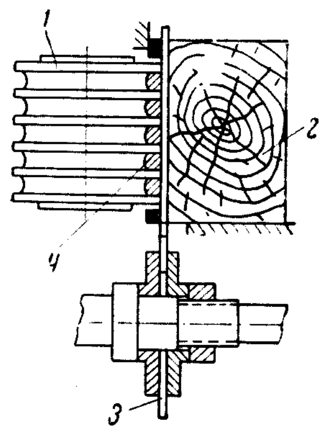


Рис. 175. Схема станка для изготовления деревянных клиньев.

Горизонтальный шпиндель приводится во вращение при помощи ременной передачи от электродвигателя, установленного на полу, а вертикальный – от другого двигателя, смонтированного на станине станка. Установку вертикального шпинделя регулируют по высоте. Пазовые клинья забивают в пазы вручную. Это очень трудоемкая работа. Для забивки клиньев рационализаторы – обмотчики предложили простое приспособление, состоящее всего из двух деталей – обоймы 1 и стержня 2 (рис. 176). Стальной стержень 2 вкладывают в обойму 1 и приставляют к нему торец деревянного клина 3. В процессе забивки обойма упирается в крайний лист сердечника, а торец стального стержня выступает из нее. Ударяя по торцу стержня молотком, загоняют клин в паз. При этом он не расщепляется и не ломается. Кроме ускорения работы это приспособление защищает обмотку от повреждений, которым она подвергалась при ударах молотка непосредственно по деревянному клину.

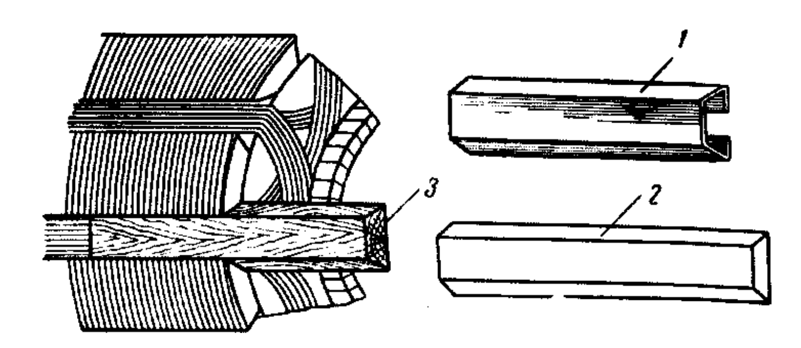


Рис. 176. Приспособление для забивки клиньев в пазы.

В микромашинах даже клин небольшой толщины занимает слишком много места в пазу, снижая коэффициент заполнения паза проводами. Поэтому для роторов микродвигателей часто деревянные клинья заменяют полоской электрокартона толщиной 0,5 – 0,8 мм. Полоску не забивают в паз, а протаскивают через прорезь полузакрытого паза, поэтому она не мнется и не сгибается.
Заклинивание пазов полоской электрокартона показано на рис. 177. На полоске, ширина которой немного меньше ширины паза в верхней его части, делают два надреза ножницами. После этого полоску сгибают в виде желобка, вдвигают ее в паз с торца ротора и затем протягивают через паз за прямую часть, которая идет над ротором. После этого отрезают желобок от полоски, снова делают на ней ножницами два надреза и протягивают желобок через второй паз. Чтобы шейка ленты между надрезами не перерывалась, ширина прорези паза должна быть около 3 мм. Замена деревянных клиньев полосками электрокартона в несколько раз ускоряет процесс заклинивания пазов и, что особенно важно в микромашинах, повышает коэффициент заполнения паза проводами.

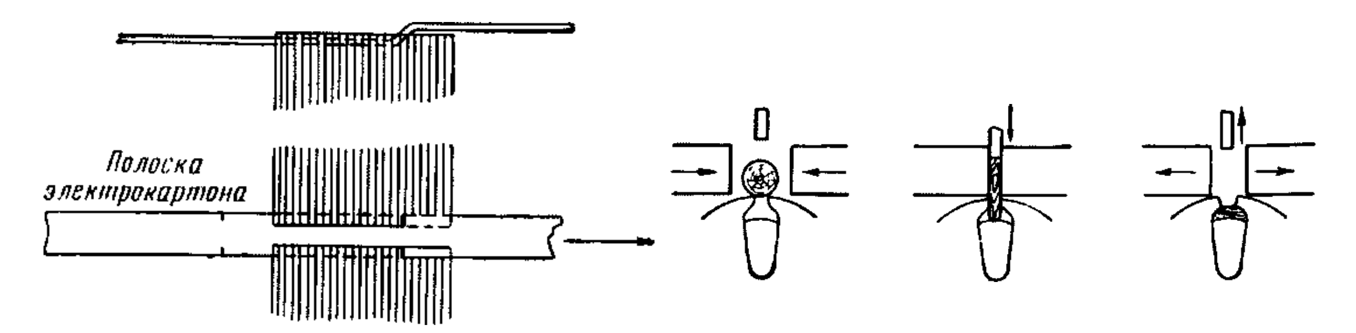


Рис. 177. Заклинивание пазов полоской электрокартона.

Рис. 178. Заклинивание пазов шнуром.

При изготовлении пазовых клиньев из дерева или текстолита много материала идет в стружку. Кроме того, недостаток клиньев, как уже отмечалось, заключается в трудоемкой ручной работе при забивке их в пазы. Обоих этих недостатков можно избежать, заклинивая пазы пропитанным шнуром. На рис. 178 показана схема этого процесса. Шнур подводится к пазу и сдавливается двумя пуансонами до толщины, несколько меньшей прорези паза.
Затем третьим узким пуансоном он вдвигается в паз и заклинивает обмотку. После этого клин отрезается от шнура, который намотан в виде бухты, и процесс повторяется над другим пазом. Этот процесс может быть полностью механизирован. Такие станки применяют для заклинивания пазов статора электродвигателей единой серии третьего габарита. Они обладают высокой производительностью (свыше 80 пазов в минуту).

Контрольные вопросы.
1. Какие достоинства и недостатки имеют проволочные бандажи и пазовые клинья?
2. Расскажите об устройстве бандажировочного станка.
3. Как закрепляют начало и конец проволочного бандажа?
4. Какие преимущества имеют бандажи из стеклоленты перед проволочными бандажами?
5. Какие существуют способы заклинивания пазов?

Глава XVI
Контроль и испытание обмоток.
§95. Виды контроля и испытаний.

Основное внимание при контроле и испытаниях должно быть обращено на проверку электрической прочности изоляции обмоток, потому что, как показывает опыт эксплуатации, подавляющее большинство аварий электрических машин происходит из–за нарушения изоляции между витками обмотки и между обмоткой и корпусом. Контрольные операции служат для проверки соответствия обмотки чертежу и расчетной записке. В процессе контроля проверяют размеры катушки, ее сопротивление, сопротивление изоляции, отсутствие в обмотке обрывов, плохих контактов или замыканий между изолированными друг от друга проводами, правильность соединений отдельных элементов обмотки между собой, с пластинами коллектора или с выводными зажимами. Контрольные операции предусмотрены технологическим процессом на разных стадиях изготовления и укладки обмоток. Однако одних контрольных операций еще недостаточно, чтобы судить о том, насколько электрическая машина будет надежной в работе. Из двух машин, прошедших контроль, одна может проработать безотказно несколько лет, а другая выйдет из строя через несколько дней. Для проверки надежности служат испытания отдельных обмоток на разных стадиях производства и готовой машины перед выпуском ее с завода.
При испытаниях обмотки подвергают действию повышенных напряжений, токов, скоростей вращения, при этом выявляют и бракуют элементы обмоток с ослабленной изоляцией. На первых стадиях производства предусмотрены более высокие испытательные напряжения, чем при последующих испытаниях. Это объясняется тем, что сменить, например, одну катушку обмотки легче до пропитки якоря, чем после пропитки, а тем более после сборки машины. Обмотки контролируют и испытывают в четырех стадиях производства и работы машин: после изготовления элементов обмотки; после укладки обмотки в пазы; после сборки машины; в процессе эксплуатации машины.
После изготовления элементов обмотки их контролируют и испытывают, чтобы не допустить укладки в пазы заведомо негодных катушек. Уложив обмотки в пазы, выявляют ослабления и нарушения изоляции, происшедшие в процессе укладки обмоток в пазы, так как это нельзя проверить в собранной машине.

При испытаниях собранной машины проверяют надежность обмоток при повышенных скоростях вращения и под нагрузкой. Кроме того, при этом проверяют расположение обмоток и; взаимодействие между ними и другими частями машины. Испытания в процессе эксплуатации машины служат для определения степени изношенности или старения изоляции. Они предупреждают аварийный выход машины из строя, который часто приносит во много раз больше убытков производству, чем стоит машина.

§96. Контроль размеров обмоток.

При проектировании всякой обмотки определяют ее размеры. Однако как обозначение этих размеров на чертежах, так и контроль их значительно отличаются от контроля механических деталей, например вала. Дело в том, что размеры поперечного сечения катушек составляются из суммы размеров многих проводов и многих слоев изоляции, из которых каждый имеет допуск по толщине; плотность их прилегания также может быть различной. При пропитке и особенно при компаундировании обмотки увеличиваются в объеме. Продольные контуры обмоток не могут быть строго прямолинейны. Поэтому к номинальным размерам на чертежах указывают допуски или вместо номинальных ставят наибольшие допустимые размеры со словами "не более". Однако не на все размеры могут быть даны большие допуски. Такие размеры, как толщина и высота пазовой части катушки, дают на чертежах с жесткими допусками и проверяют специальными предельными калибрами. Действительный размер сечения катушки должен быть меньше ширины паза калибра, т. е. калибр 4 должен в любом месте пазовой части катушки легко надвигаться на нее. Чтобы проверить расстояние и центральный угол между пазовыми частями статорной катушки, применяют деревянные макеты, в которые вкладывают пазовые части катушки. Для проверки полюсных катушек изготовляют специальные шаблоны; их вдвигают во внутреннее окно катушки. Высоту катушки проверяют между параллельными плоскостями специального измерительного приспособления.
Для того чтобы выдержать размеры с указанными на чертеже допусками, предусматривают специальные операции в технологическом процессе. Так, например, статорные катушки рихтуют в приспособлениях, пазовые части их прессуют в гидравлических прессах, полюсные катушки прессуют по высоте с одновременным расклиниванием внутреннего окна.

§97. Измерение сопротивления обмоток.

У каждой намотанной катушки и уложенной в пазы обмотки измеряют омическое сопротивление. У обмоток с большим сопротивлением измерение производят при помощи универсального моста, а у обмоток с малым сопротивлением – методом амперметра и вольтметра. Для этого через обмотку пропускают постоянный ток и одновременно замеряют величину тока и напряжения. Сопротивление обмотки по закону Ома равно частному от деления напряжения на ток.
В обмоточной записке нельзя указывать номинальное расчетное сопротивление обмотки, так как вследствие отклонений сечений провода и различной плотности намотки сопротивления отдельных катушек могут отличаться. Поэтому в обмоточных записках указывают допуск ± 5 – 7%. Для измерения сопротивления обмотки якоря методом амперметра и вольтметра пользуются специальными щупами (рис. 179), прижимая их к двум пластинам коллектора, удаленным на полюсное деление. Каждый щуп имеет две иглы. Одна из них 1 жестко связана с изоляционной колодкой, а другая 2 выдвигается спиральной пружиной 3. К иглам 1 присоединен милливольтметр V, а к иглам – цепь питания, состоящая из аккумуляторной батареи 7, рубильника 5, предохранителей 6, амперметра. А и реостата 4. Реостатом устанавливают величину тока, при которой отклонения стрелок приборов будут заметны.

Двойные иглы щупов сделаны для предохранения милливольтметра от перегорания при случайном отключении одного из щупов от коллекторной пластины, когда на милливольтметр приходится все напряжение аккумулятора. При двойных иглах милливольтметр отключится раньше, чем игла цепи питания, и опасность перегорания ему не угрожает. Кроме того, двойные иглы исключают влияние непостоянства сопротивления контактов игл питания на результаты измерения.

Чтобы измерить сопротивление обмотки, записывают показания приборов. Для перевода показаний приборов в вольты и амперы надо знать цену деления каждого прибора. Ценой деления называется частное от деления предела измерения на число делений шкалы.

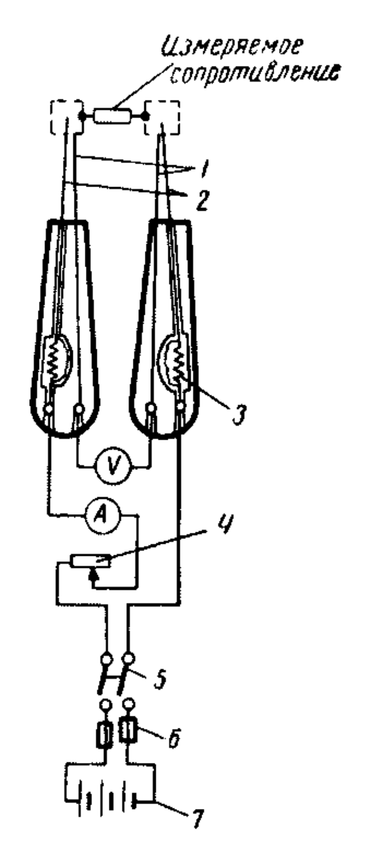


Рис. 179. Щупы для измерения сопротивления.

Например, если предел измерения милливольтметра 0,5 В, а шкала его имеет 200 делений, то цена одного деления будет 0,5 : 200 = 0,0025 В. Для амперметра с пределом измерения 10А и числом делений шкалы 200 цена деления будет 10 : 200 = 0,05 В. Если при измерениях стрелка милливольтметра стояла на делении 120, а стрелка амперметра на делении 100, то сопротивление обмотки:

$$R = \frac{120 \times 0{,}0025}{100 \times 0{,}05} = 0{,}06 \quad \text{Ом}$$

Как известно, сопротивление проводов зависит от температуры, повышаясь с нагревом провода. Чтобы можно было сравнивать сопротивления отдельных обмоток, их приводят к одной и той же температуре 75°С по формуле:

$$R_{75} = R \times [1 + \alpha \times (75 - t)] \ \text{Ом} \quad (41)$$

где R – холодное сопротивление обмотки, ом; t – температура, при которой производилось измерение, °С; α – температурный коэффициент (для меди он равен 0,004). Если измерение производили при температуре 15°С, то горячее сопротивление:

$$R_{75} = 0{,}06 \times [1 + 0{,}004 \times (75 - 15)] = 0{,}074 \quad \text{Ом.}$$

§98. Измерение сопротивления изоляции.

Сопротивление изоляции измеряют для обмоток, уложенных в пазы, по отношению к корпусу и между отдельными фазами. Сопротивление изоляции проверяют специальным прибором – I мегомметром. Для низковольтных машин применяют мегомметр напряжением 500 В, для машин с номинальным напряжением выше 1000 В – мегомметры на 1000 или 2500 В (в зависимости от напряжения машины). По ГОСТ 183 – 66 сопротивление изоляции обмоток электрических машин по отношению к корпусу и сопротивление изоляции между обмотками должно быть не ниже значения, получаемого по формуле:

$$Z = \frac{\text{U}}{1000} + \frac{\text{P}}{100} \quad (42)$$

где U – номинальное напряжение обмотки, В; P – номинальная мощность, кВа. Сопротивление изоляции зависит от температуры и влажности обмотки. Если сопротивление мало, обмотку надо просушить.

§99. Контрольные аппараты СМ и ЕЛ.

Для контроля отсутствия в обмотках замыканий, обрывов, плохих контактов и неправильных соединений долгое время пользовались различного рода электромагнитными устройствами, которые не давали гарантии, что обнаружены все неисправности, и требовали очень много времени на контрольные операции. Контроль обмоток всех типов электрических машин был значительно усовершенствован после разработки во Всесоюзном электротехническом институте им. В. И. Ленина аппаратов СМ. Применение новых аппаратов позволило увеличить пропускную способность контрольных станций на заводах и повысить качество контроля.

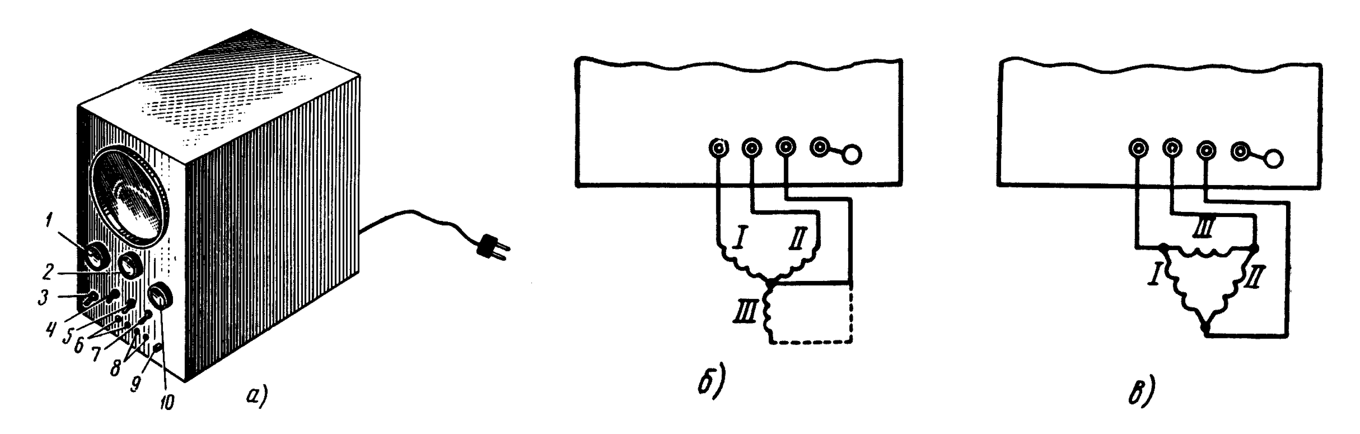


Рис. 180. Проверка трехфазных обмоток аппаратом СМ–1:
а – внешний вид аппарата, *б* – проверка обмотки, соединенной в звезду, *в* – проверка обмотки, соединенной в треугольник.

Аппарат СМ питается от сети переменного тока и посылает в испытуемую обмотку волну импульса с амплитудой до 600 В при токе в несколько миллиампер. На экране электронно–лучевой трубки появляется свечение в виде яркой точки. При помощи двух вертикальных пластин луч развертывается в светящуюся полосу.

Две горизонтальные пластины, к которым присоединяют две ветви испытуемой обмотки, заставляют луч колебаться в вертикальном направлении, и на экране появляется кривая. При неисправностях в одной из двух ветвей обмотки на экране появляется изображение двух кривых. Если неисправности обмотки различны (междувитковое замыкание, обрыв, плохой контакт, неправильное соединение катушек, различные числа витков), то появляются кривые разной формы, что при известном опыте производящего контроль позволяет быстро определить характер неисправности. Внешний вид аппарата СМ – 1 показан на рис. 180*а*. В нижней части передней стенки расположены две пары гнезд для присоединения испытуемых обмоток. Гнезда 6 имеют обозначение "Импульсы", гнезда 8 – "Пластины явления". Над гнездами расположены выключатели, а между экраном и включателями – три ручки настройки. Ручкой 1, имеющей надпись "Импульсный контур", регулируют напряжение, подаваемое на испытуемые обмотки; ручкой 2 с надписью "Фокус" регулируют резкость луча на экране; ручкой 10 с надписью "Емкость симметрии" можно устранить естественную не симметрию испытуемых обмоток. У аппарата ЕЛ меньшие размеры и вес, чем у аппарата СМ – 1. Это делает его удобным для переноски, но зато он имеет небольшие размеры экрана, позволяющего видеть изображение на расстоянии не более 1 м. Аппараты СМ и ЕЛ имеют следующие преимущества перед ранее применявшимися громоздкими электромагнитными установками: возможность быстро и точно обнаруживать неисправности как в процессе изготовления обмоток, так и после их укладки в пазы; универсальность аппаратов, позволяющая применять их для контроля обмоток электрических машин постоянного и переменного тока мощностью от нескольких ватт до сотен киловатт; небольшие вес и габариты, делающие аппараты (особенно ЕЛ)

портативными; возможность контролировать обмотки электрических машин без разборки их; простота управления аппаратами, позволяющая работать на них рядовому контролеру или опытному обмотчику. Напряжение на выходе аппарата может подниматься до 560 В, поэтому при работе с ним надо выполнять следующие требования техники безопасности: нельзя вскрывать аппарат, не отключив его от сети; до присоединения прибора к источнику питания его зажим 9 ("Земля") необходимо надежно заземлить; нельзя браться за оголенные концы проводов, когда они находятся под напряжением.

§100. Контроль обмоток машин переменного тока.

Перед началом контроля включают аппарат СМ в сеть, предварительно проверив соответствие напряжения сети указанному на футляре и в паспорте аппарата. Шнур питания сначала присоединяют к аппарату, а затем к сети. У аппаратов выпуска 1956 г. и позднее на передней стенке футляра имеется выключатель с надписью "Сеть", которым включают и выключают питание аппарата. После включения надо подождать не менее 1 мин для прогрева ламп и трубки. Преждевременное включение анодного напряжения может вывести лампы из строя. После прогрева включают анодное напряжение, повернув вниз ручку выключателя 5 (рис. 180*а*). Появившийся на экране луч наводят на фокус, поворачивая вправо или влево ручку 2 и добиваясь, чтобы на экране была резкая, а не расплывчатая линия. Концы двух фаз трехфазной обмотки соединяют с гнездами 6, а среднюю точку – с одним из гнезд 8. Длина проводов должна быть не более 4 м; сечения и марки проводов должны быть одинаковыми, чтобы не возникала естественная не симметрия.
После этого выключателем 7, повернув ручку вниз, включают синхронный переключатель. Поворотом ручки 1 подают на испытуемые обмотки импульсное напряжение необходимой величины. При этом на экране вместо нулевой линии появляется одна кривая, если обмотки исправны, и две кривых – при наличии в них дефектов. В случае надобности поворотом ручки 10 устраняют естественную не симметрию испытуемых обмоток.
На рис. 180*б* пунктиром показано, что при отсутствии в обмотке выведенной нулевой точки к гнезду 8 присоединяют конец третьей фазы, которая в данном случае служит проводом. На рис. 180*в* показано присоединение к аппарату обмотки, соединенной в треугольник. Для проверки всех трех фаз надо поочередно менять их местами.
При испытании обмоток с малым числом витков частота их собственных колебаний получается очень высокой и при сравнительно медленной развертке луча наблюдаемые на экране затухающие кривые имеют очень острые пики, поэтому при наличии в обмотках дефектов трудно заметить раздвоение кривых. В таких случаях следует ускорить развертку луча, для чего ручку выключателя 4 надо повернуть вниз (рис. 180*а*).
Пока не снято импульсное напряжение, нельзя допускать замыкания проводов, подводимых к гнездам 6 аппарата, так как это может привести к перегоранию электронных ламп. При коротких перерывах в работе выключают анодное напряжение, подняв вверх ручку выключателя 5, и выключают синхронный переключатель ручкой выключателя 7. Аппарат можно не выключать, чтобы при возобновлении работы не тратить время на разогрев ламп. При длительных перерывах и после окончания работы аппарат надо выключить, чтобы продлить срок службы ламп. Выключают аппарат в таком порядке: выключают анодное напряжение выключателем 5, выключают синхронный переключатель выключателем 7, отключают питание выключателем с надписью "Сеть" и вынимают вилку из розетки осветительной сети. Как видно на рис. 180*б*, и *в*, для контроля обмоток необходимо подключать к аппарату две одинаковые фазы, ветви или катушки.

При наличии в одной из фаз короткозамкнутых витков на экране появляется раздвоенная кривая, причем расхождение между кривыми небольшое. Если же в одной из фаз имеется обрыв, то вторая кривая будет почти совпадать с нулевой линией.

При обнаружении в фазе короткозамкнутых витков необходимо установить, в каком пазу находятся эти витки. Для этого к аппаратам СМ прикладывают специальное приспособление, состоящее из двух электромагнитов с намотанными на них катушками. Обмотка электромагнита 1 (рис. 181) состоит из 100 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,41 мм., обмотка электромагнита 2 – из 2000 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,1 мм. Сердечники магнитов П–образной формы набраны из трансформаторной стали. Электромагниты устанавливают над одним и тем же пазом.

Ввиду того что длины сердечников бывают разные, расстояния между электромагнитами можно изменять, передвигая их вдоль немагнитной планки, которой они скрепляются. Выводные концы обмотки электромагнита 1 подключают к гнездам Щ (см. рис. 180*а*), а концы обмотки электромагнита 2 – к гнездам 8 аппарата СМ. При отсутствии в данном пазу короткозамкнутых витков на экране аппарата появляется одна кривая, близ кая к нулевой линии.

При наличии короткозамкнутых витков на экране появляются две кривые, одна над нулевой линией, другая под ней. Если в обмотке статора или ротора имеются параллельные ветви, то соединения между ними образуют естественные короткозамкнутые контуры.

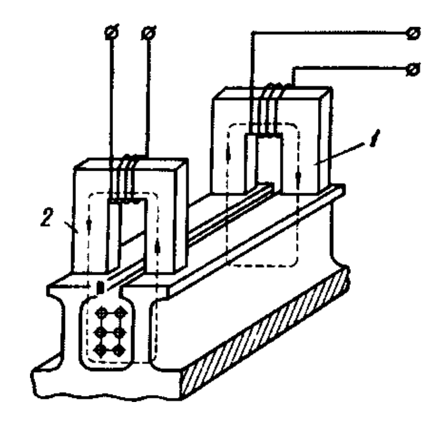


Рис 181. Нахождение паза с дефектной катушкой.

При нахождении пазов с короткозамкнутыми витками при помощи двух электромагнитов эти короткозамкнутые контуры улавливаются аппаратом. На экране появляются раздвоенные кривые, хотя в действительности короткозамкнутых витков в этих пазах нет. Раздвоенные кривые появляются с определенной последовательностью в зависимости от схемы обмотки, но амплитуды их значительно меньше, чем при действительном коротком замыкании витков. Поэтому можно определить пазы с замкнутыми витками. Кроме того раздвоенные кривые при этом появляются без всякой закономерности. В условиях производства обмотки с параллельными ветвями проверяют на витковые замыкания до соединения параллельных ветвей при помощи двух электромагнитов. При контроле трехфазных обмоток статора асинхронных двигателей наблюдались случаи, когда аппарат обнаруживал в обмотке некоторые катушки, намотанные из провода другого сечения или с неправильным числом витков. Для обмоток из эмалированных проводов контроль аппаратом СМ при напряжении 560 В может считаться испытанием электрической прочности эмалевой витковой изоляции.

§101. Контроль обмоток якорей.

При контроле обмоток якорей необходимо выполнять правила включения и выключения аппаратов СМ, изложенные в §99. Контроль обмотки якоря заключается в нахождении витковых замыканий, неправильных соединений концов обмотки с коллектором, пробоя изоляции на корпус, катушек с неправильным числом витков и обрывов. Если присоединить две коллекторные пластины, расположенные на коллекторе под углом 90°, к гнездам 6 (см. рис. 180*а*) аппарата СМ, а находящуюся посередине между ними пластину – к одному из гнезд 8, то при петлевой обмотке получим схему, аналогичную трехфазной обмотке, соединенной в треугольник (см. рис. 180*в*).

Так как во всех секциях, лежащих в одном пазу, одинаковое число витков, то для соединения с аппаратом можно взять любые три коллекторные пластины, охватывающие центральный угол 120°, т. е. одну четверть коллектора. При наличии в одной из ветвей обмотки витковых замыканий и других дефектов на экране появляются раздвоенные кривые. Для полного контроля всей петлевой обмотки якоря необходимо эту операцию повторить для каждой четверти коллектора, т. е. повторить прием четыре раза. В целях экономии времени можно петлевую обмотку проверить и в два приема, но для этого надо делить коллектор на три части и контакты от аппарата устанавливать на трех коллекторных пластинах, расположенных друг относительно друга под углом 120°. Тогда обмотка будет соединена в равносторонний треугольник, как и трехфазная обмотка при соединении в треугольник. В обмотках с уравнительными соединениями, как и в трехфазных обмотках с параллельными ветвями, есть естественные замкнутые контуры, создающие раздвоение кривых на экране. Поэтому пазы с замкнутыми витками следует находить при помощи П – образных магнитов (см. рис. 181). Этими же магнитами пользуются и для обмоток без уравнительных соединений для точного определения паза, в котором находятся короткозамкнутые витки.

§102. Контроль полюсных катушек.

Полюсные катушки надо проверять как после намотки, так и после установки их на роторе синхронной машины или в станине машины постоянного тока. Чтобы проверить катушки, их соединяют попарно аналогично двум фазам обмотки статора (см. рис. 180,6). Если на экране появятся две кривые вместо одной, это значит, что одна из катушек имеет витковые замыкания, обрыв или неправильное число витков. Формы кривых при каждом из этих дефектов различны. Аппарат не может выявить лишь одинаковые дефекты в обеих катушках, но такой случай маловероятен. В многополюсных машинах для ускорения контроля в собранной станине или роторе можно сразу проверять все катушки, разделив их на две ветви, и применять попарный контроль только при обнаружении не симметрии ветвей.

При сборке шунтовых катушек с тонкими соединительными проводами часто наблюдается неправильная полярность отдельных полюсов. Аппаратом СМ это можно обнаружить на месте, не перевозя тяжелую станину на испытательную станцию. На рис. 182 показаны чередования полярности главных и дополнительных полюсов машин постоянного тока при работе их в качестве двигателей и генераторов с правым и левым вращением.

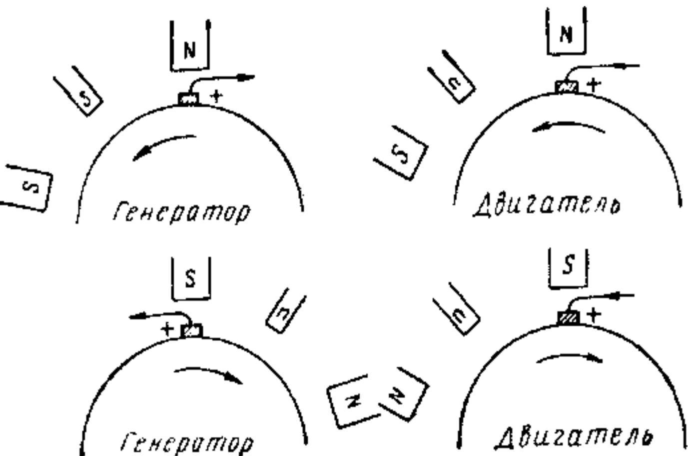


Рис. 182. Чередование полярности полюсов.

Эти схемы составлены для машин с наиболее распространенными правыми петлевыми или левыми волновыми обмотками якоря. При правой волновой или левой петлевой обмотках на этих схемах надо изменить знак щетки плюс на минус.

У полюсных катушек может быть небольшая естественная не симметрия вследствие неодинаковой прессовки или пропитки, влияющих на емкость между витками. Аппарат может улавливать эту не симметрию, но раздвоение кривых при этом значительно меньше, чем при витковых замыканиях или обрывах.

§103. Испытание электрической прочности междувитковой изоляции.

Наибольшее число случаев выхода из строя высоковольтных машин приходится на пробивание междувитковой изоляции обмоток. Однако до последнего времени она не подвергалась требуемым испытаниям ни до укладки в пазы, ни после укладки. Требования ГОСТ 183 – 66 сводятся к испытанию междувитковой изоляции напряжением, повышенным против номинального на 30%. Это испытание проводят над собранной машинной в двигателях путем повышения подводимого напряжения, в генераторах путем повышения скорости вращения. Между тем, как показали исследования, в процессе эксплуатации витковая изоляция обмотки подвергается значительно более высоким перенапряжениям.
Существующие на некоторых заводах импульсные установки для испытания междувитковой изоляции до укладки катушек в пазы громоздки и не обеспечивают надежной работы машины в эксплуатации. В процессе укладки катушек в пазы часто витковая изоляция повреждается в тех местах, где она несколько ослаблена в процессе изготовления катушек. Эти повреждения выявляются при испытаниях собранной машины только в том случае, когда существует металлический контакт между проводами катушки. Если же изоляция только ослаблена, то это остается необнаруженным, машина поступает к потребителю с дефектной изоляцией и преждевременно выходит из строя. Чтобы избежать этого, надо проверять витковую изоляцию повышенным напряжением не только до укладки в пазы, но и после укладки, а также в процессе эксплуатации при очередных ревизиях машин.

§104. Испытание электрической прочности корпусной изоляции.

В каждой обмотке и готовой машине испытывают электрическую прочность корпусной изоляции. Для каждого вида обмоток существуют отдельные нормы испытаний. Эти нормы преследуют основную цель – не допустить укладку в пазы обмотки с ослабленной или поврежденной изоляцией. Всякую обмотку электрической машины испытывают не менее трех, а иногда и пяти раз. Чтобы не перегружать изоляцию обмотки при повторных испытаниях, нормы предусматривают снижение последующих испытательных напряжений по сравнению с предыдущими.
Например, для статорной обмотки машины с рабочим напряжением 10500 В изоляцию каждой катушки испытывают напряжением 35000 В, изоляцию уложенной в пазы и соединенной обмотки – напряжением 28000 В, готовую машину после прогрева – напряжением 22000 В. Величину испытательного напряжения Uи для статорных обмоток машин переменного тока напряжением U, равным 6 кВ и менее определяют по формуле:

$$\text{Uи} = 2{,}7 \times \text{U} + 5 \quad \text{кВ} \quad (43)$$

а для машин напряжением U выше 6000 В величину испытательного напряжения изоляции статорной обмотки повышают до:

$$U\text{и} = 2{,}75 \times U + 7 \quad \text{кВ} \quad (44)$$

При испытании на пробой изоляции отдельных катушек необходимо создать проводящий слой на наружной поверхности изоляции. Этот слой, будучи соединен с землей, создает условия, имитирующие условия работы изоляции в машине.

При крупносерийном производстве, когда через испытательную станцию проходит несколько сотен обмоточных изделий, этот вопрос имеет существенное значение.
Наиболее распространенный и простой способ состоит в том, что на поверхность изоляции накладывают тонкую фольгу, которую прикрепляют к катушкам полотняной лентой. Этот способ хотя и прост, но трудоемок и связан с большим расходом материалов. Поэтому применяют стальные фрезерованные коробки, в которые закладывают пазовые части катушек. Коробки универсальной конструкции с раздвижными стенками позволяют испытывать в них катушки с различными размерами сечения в длины пазовой части. Для стержней роторных и якорных обмоток применяют многогнездные металлические плиты. Оборудованный высоковольтный стенд для испытания корпусной изоляции имеет специальное место, на которое укладывают катушки или стержни. Оно состоит из металлических вертикальных стоек и горизонтальных полок, имеющих хорошее заземление. Все выводные концы соединяют между собой тонкой медной проволокой и конец проволоки присоединяют к незаземленному полюсу испытательного трансформатора. Продолжительность испытания не должна быть более 1 мин.
При производстве испытаний обслуживающий персонал должен строго соблюдать правила техники безопасности для работы с высоковольтными установками. Надо периодически проверять электрическую прочность диэлектрических ковриков, галош, перчаток и штанг.

Контрольные вопросы.
1. Какие существуют виды контроля и испытаний обмоток?
2. Какими приборами измеряют сопротивление обмоток?
3. Как подключают испытуемые обмотки к аппарату СМ?
4. Каким испытаниям подвергают обмотки машин переменного тока?
5. В чем заключается контроль обмоток якорей?
6. В какой последовательности чередуются полярности полюсов?
7. Расскажите о порядке испытаний витковой и корпусной изоляции.

Глава XVII
Ремонт обмоток.
§105. Виды ремонтов обмоток.

Из общего числа ремонтируемых электрических машин у 70% машин производится ремонт обмоток. С течением времени происходит "старение" изоляции. При этом электрические и механические свойства изоляционных материалов ухудшаются, и может произойти замыкание между витками одной катушки, замыкание между проводами разных катушек и соединение проводов обмотки с корпусом машины. Характером неисправности определяется большая или меньшая трудность ее нахождения, характер и технология выполнения ремонта.
Повреждения медных проводов обмотки встречаются гораздо реже, чем нарушение изоляции и выражаются в обрывах тонких проводов, распаивании соединений проводов обмотки или отпаивании их от коллектора и от выводов. Бывают случаи перегорания проводов обмотки в результате короткого замыкания. В этом случае в проводах начинают протекать большие токи и провода расплавляются под действием выделяемого в них тепла или электрической дуги. Чем раньше обнаружена причина неисправности электрической машины, тем легче ее устранить. Приведем несколько примеров.

1. Повышение сопротивления контакта одной из фаз на зажимах асинхронного двигателя можно легко устранить на месте установки. Если же этот двигатель будет работать в режиме двухфазного включения, то может сгореть обмотка статора.

2. Нарушенное соединение обмотки якоря с пластиной коллектора можно восстановить, пропаяв контакт, иногда даже не разбирая машину. Если эту неисправность не заметить вовремя, то провода обмотки расплавятся и потребуется капитальный ремонт машины.
3. В случае междувитковых замыканий в катушке статора можно отключить замкнутые витки и разомкнуть их выводные концы. При работе машины с замкнутыми витками^ произойдет расплавление части обмотки, а в машинах большой мощности может выгореть даже участок магнитного сердечника ("пожар в железе").
4. Сопротивление изоляции обмоток, пониженное вследствие отсыревания, можно легко восстановить сушкой обмоток. Если этого не сделать, то может произойти пробой изоляции на корпус и машина выйдет из строя.
5. Разматывание бандажей или обрыв их отдельных проволок исправляют перемоткой бандажей. Если этого не сделать вовремя, то обмотка якоря поднимется из пазов и будет задевать за неподвижные части машины, что приведет к выходу машины из строя.

Из приведенных примеров ясно, что основной задачей эксплуатации электрических машин является предупреждение аварий.

На основе практики эксплуатации электрических машин сложился так называемый *планово – предупредительный ремонт*, т. е. определенная система работ по поддержанию электрических машин в работоспособном состоянии.

Планово – предупредительный ремонт обмоток электрических машин включает следующие мероприятия: *плановый осмотр, текущий (средний) ремонт, капитальный ремонт.*

При плановом осмотре машины, который, как правило, производится без разборки ее, устраняют мелкие неполадки и устанавливают нуждается ли обмотка в ремонте. В процессе планового осмотра проверяют качество и отсутствие нагрева контактов в коробке зажимов, исправность проволочных бандажей на лобовых частях обмотки ротора, крепление лобовых частей обмотки статора, качество пайки концов обмотки якоря с пластинами коллектора или петушками, измеряют сопротивление изоляции обмотки по отношению к корпусу.

Текущий ремонт производится по заранее установленному графику в период остановки машины. В процессе текущего ремонта машину разбирают, производят сушку и пропитку обмоток, лакировку наружных поверхностей ротора и статора, покрытие электроэмалью миканитовых манжет коллектора и лобовых частей обмотки ротора. При текущем ремонте устраняют все обнаруженные неисправности, пропаивают нарушенные контакты, устраняют междувитковые замыкания в обмотках и замыкания на корпус. При частичном или полном старении изоляции заменяют катушки или перематывают всю обмотку.

Капитальный ремонт обмоток заключается в полной перемотке статора или ротора, замене коллектора или контактных колец. При капитальном ремонте машин старых типов часто модернизируют их обмотки. Например, заменяют концентрические однослойные обмотки статора двухслойными с укороченным шагом, что способствует повышению эксплуатационных свойств электрических машин трехфазного тока; заменяют изоляцию обмоток другой с более высокой нагревостойкостью, что повышает надежность работы машины. Характер ремонта определяется не только видом неисправности, но и конструкцией обмотки. Например, в полюсных катушках или концентрических однослойных обмотках неисправную катушку или катушечную группу заменяют новой, вынув старую из пазов. В двухслойных обмотках для замены неисправной катушки необходимо вынуть из пазов число катушек, равное шагу обмотки по пазам, иначе нельзя вынуть неисправную катушку.

При выемке из пазов могут быть повреждены и другие катушки, поэтому часто вместо одной катушки приходится заменять несколько катушек.

В машинах малой мощности, у которых обмотка выполнена из тонкого провода и пропитана, редко удается произвести ее частичный ремонт, так как провода склеены пропиточным лаком и вынуть их из пазов можно, только разрезав лобовые части катушек на одной стороне статора. Таким образом, вместо частичного ремонта приходится заменять всю обмотку.
В процессе ремонта машин, на которые нет чертежей и схем, обмотчику часто приходится сталкиваться с новыми трудностями. Нельзя производить частичный ремонт обмотки, не разобравшись в ее схеме, не определив класса изоляции, числа параллельных ветвей и параллельных проводов в катушках. Ремонтные работы являются для обмотчиков наиболее трудными; кроме производственных навыков, они требуют и теоретических знаний. При восстановлении обмотки обмотчик должен знать весь технологический процесс ее выполнения, который при серийном производстве расчленен на многие операции, выполняемые рабочими различных профессий и часто даже в разных цехах. Наибольшую ответственность накладывает на обмотчика ремонт крупных машин на месте их установки, где обмотчик должен выполнять все операции самостоятельно. Такие работы поручают опытным обмотчикам высокой квалификации.
Повреждения обмоток электрических машин нельзя рассматривать в отрыве от состояния других частей машины. Например, при заедании подшипников электродвигатель попадает в режим короткого замыкания, когда статор подключен к сети, а ротор не вращается. При этом по обмотке протекает ток, в несколько раз превышающий номинальный, обмотка сильно нагревается и изоляция ее обугливается. Чрезмерный нагрев коллектора машины постоянного тока вследствие неисправности щеточного аппарата может вызвать распаивание соединений обмотки якоря с коллектором. Задевание ротора за статор при чрезмерном износе подшипников скольжения неизбежно сопровождается повреждением обмоток. Если наружная поверхность двигателя и решетки для забора охлаждающего воздуха загрязнены, то это ухудшает охлаждение и ускоряет старение изоляции. Нарушение изоляции листов сердечников влечет за собой усиленный нагрев, при котором изоляция обмотки может обуглиться. Из этих примеров видно, что исправное состояние и хорошая работа обмоток зависят от ряда факторов, которые как будто прямого отношения к обмотке не имеют. Их необходимо принимать во внимание при определении неисправности поступившего в ремонт двигателя.

§106. Подготовка к ремонту обмоток.

Перечень материалов, необходимых для ремонта обмоток, вносится в паспорт электрической машины. Подготовка к ремонту обмоток заключается в своевременной заготовке обмоточных проводов соответствующих марок и размеров, изоляционных и вспомогательных материалов, пропиточных и покровных лаков. Мероприятия по подготовке к ремонту обеспечивают скоростной ремонт обмоток. Подготовка к ремонту обмоток сильно затруднялась существовавшим многообразием типов электрических машин. Внедрение единых серий асинхронных двигателей, синхронных машин и машин постоянного тока резко сократило номенклатуру электрических машин, находящихся в эксплуатации. За восемнадцатилетний период со времени пуска в производство первой единой серии асинхронных двигателей типов А и АО двигатели старых серий уже износились. В старых сериях асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт было много типов обмоток, несколько марок и сотни размеров обмоточных проводов, десятки сортов изоляционных материалов. В единых сериях применена одинаковая конструкция и технология обмоток, что позволяет организовать на ремонтных заводах производство по образцу электромашиностроительных заводов. Ремонтные заводы имеют обмоточные данные всех двигателей единых серий. Это дает возможность заранее заготовить катушки обмоток, нарезать комплекты изоляции, подготовить пазовые клинья и вспомогательные материалы.

Поступающие в ремонт электрические машины направляются со склада на разборочно – дефектовочный участок ремонтного завода. Прежде чем разобрать машину, ее испытывают для определения характера неисправности и объема ремонта. Для этого участок оборудован распределительным щитом управления электрическими испытаниями. При дефектовке и составлении дефектной карты особое внимание уделяют обмоткам. После этого машину разбирают, механические детали промывают керосином, а обмотанные детали продувают сжатым воздухом, обтирают и направляют в обмоточное отделение для ремонта.

Обмоточное отделение состоит из заготовительного, обмоточного и пропиточного участков.

На заготовительном участке режут изоляцию, гнут и прессуют пазовые гильзы, заготовляют пазовые клинья, наматывают катушки всыпных обмоток, гнут, формуют и изолируют жесткие катушки и стержни, наматывают и изолируют полюсные катушки.

На обмоточном участке разматывают и обматывают магнитные сердечники, заменяют неисправные катушки новыми или полностью перематывают статоры, роторы и якоря. На этом же участке наматывают бандажи, паяют головки стержневых обмоток и концы обмотки якоря с коллектором. Окончив обмотку и пропитку, роторы и якоря передают на слесарный участок для балансировки.

На пропиточном участке приготовляют пропиточные составы, пропитывают и сушат отдельные катушки обмотки и обмотанные статоры, роторы и якоря в зависимости от рода обмотки. Эти участки должны быть оборудованы ваннами для пропитки и сушильными камерами, соответствующими размерам пропитываемых деталей. Обмотанные и пропитанные сердечники поступают на сборочный участок, где производится сборка машин после ремонта. Собранные машины передают на испытательную станцию.

§107. Ремонт всыпных обмоток статора.

Всыпные обмотки применяются в статорах асинхронных и синхронных машин мощностью до 100 кВт. Это самые распространенные типы двигателей. Об объеме ремонтных работ можно судить по тому, что только асинхронных электродвигателей ремонтируется более 5 млн. в год. У каждого двигателя, поступившего в ремонт, прежде всего определяют характер неисправности. Иногда в ремонт попадают двигатели с исправными обмотками, которые были неправильно включены в сеть трехфазного тока вследствие ошибочной маркировки выводных концов обмотки статора. Поэтому, прежде всего, необходимо проверить правильность маркировки выводов.

Неправильная маркировка выводов приводит к тому, что фазы обмотки имеют не симметрию. При этом двигатель плохо разворачивается и сильно гудит; токи в фазах различны, а при холостом ходе ток превышает величину номинального тока двигателя, указанную на табличке. В двигателях малой мощности нет дощечки зажимов, а выводы выполнены гибкими проводами с напаянными наконечниками. На выводы надеты бирки с обозначениями выводов по ГОСТ 183 – 66. Потеря нескольких бирок или, что еще хуже, ошибочная маркировка выводов приводят к неправильному включению обмотки двигателя в сеть, при котором одна из фаз оказывается "перевернутой". Это может получиться, например, при соединении в звезду, если соединены в общую точку начала двух фаз с концом третьей фазы. Существует несколько методов определения маркировки выводов обмотки статора при отсутствии на них бирок.

При шести выводах обмотки статора применяют метод пробных включений (рис. 183). Сначала при помощи контрольной лампы определяют выводы отдельных фаз и разделяют их попарно. Но при этом неизвестно, какой вывод в каждой паре является началом и какой концом фазы. Поэтому к ним произвольно привязывают картонные бирки с номерами 1 – 2 для первой фазы, 3 – 4 для второй и 5 – 6 для третьей.

Соединяют в общую точку выводы с бирками 2, 4 и 6, а к выводам 1, 3 и 5 подводят трехфазный ток пониженного напряжения (рис. 183*а*). Если двигатель работает плохо, сильно гудит, токи фаз неодинаковы и превышают номинальное значение, то меняют местами выводы 1 и 2, т. е. соединяют в общую точку выводы 1,4 и 6 (рис. 183*б*). Если при таком соединении неисправность двигателя не устраняется, то выводы первой фазы снова соединяют, как в первый раз, а меняют местами выводы второй фазы (рис. 183*в*). Если и при таком соединении двигатель работает плохо, то выводы второй фазы снова соединяют, как на рис. 183*б*, а меняют местами выводы третьей фазы (рис. 183*г*). Теперь двигатель должен работать нормально.
На схеме, показанной на рис. 56*б*, в общую точку должны быть соединены выводы С4, С5 и С6, а к сети подключены выводы С1, С2 и С3. В таком порядке и надо укрепить металлические бирки на ыводах, чтобы соединение фаз было правильным.
В рассмотренном примере потребовалось четыре пробных включения, потому что были перепутаны начало и конец третьей фазы. Правильное соединение можно было бы найти и при меньшем числе пробных включений, если бы были перепутаны выводы первой или второй фазы.

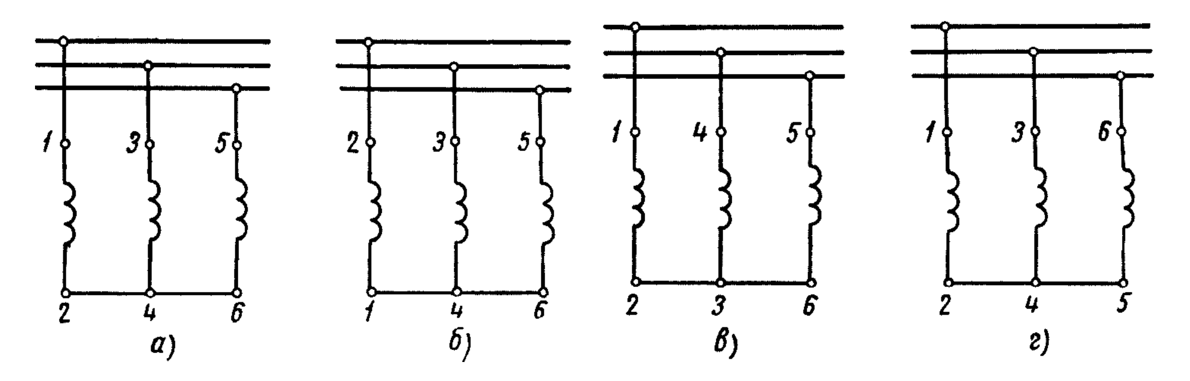


Рис. 183. Определение маркировки выводов методом пробных включений:
а – *г* – варианты включения.

Если ни при одном из пробных включений неисправность двигателя не устраняется, значит, перепутаны выводы не какой – либо фазы, а только одной или нескольких катушек. В этом случае, надо, питая фазу постоянным током, проверить полярность катушечных групп магнитной стрелкой.

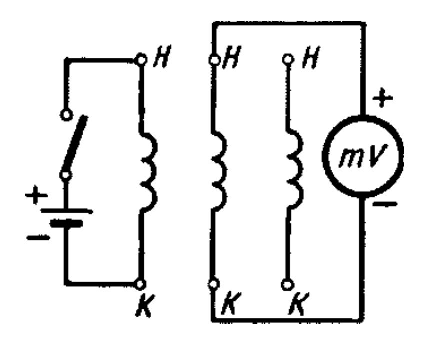


Рис. 184. Определение маркировки выводов милливольтметром.

Метод пробных включений сложен и может быть применен лишь для двигателей в собранном виде с исправными подшипниками. Маркировку выводов можно определить и проще, имея аккумулятор напряжением 2В и милливольтметр (рис. 184).
Аккумулятор подключают к выводам одной из фаз, считая условно, что плюс соединен с началом Н фазы, а минус – с ее концом – К. К выводам двух других фаз поочередно присоединяют милливольтметр. Если теперь разорвать цепь тока рубильником, то милливольтметр покажет плюс на началах и минус на концах фаз.

При включении тока рубильником полярность на двух фазах будет обратная. При использовании этого метода следует иметь в виду, что на зажимах фаз может появиться напряжение выше номинального, поэтому надо взять милливольтметр на повышенное напряжение и принять меры предосторожности против поражения электрическим током.

В двигателях с фазным ротором проверку маркировки выводов статорной обмотки можно произвести следующим образом. Обмотку статора размыкают, а к контактным кольцам ротора подводят напряжение трехфазного тока, не превышающее номинального напряжения ротора, которое указано на щитке. При таком питании двигатель с неподвижным ротором подобен трансформатору, первичной обмоткой которого является обмотка ротора, а вторичной – обмотка статора. Включив ток в обмотку ротора, измеряют напряжения на зажимах статора. При правильной маркировке напряжения на зажимах статора будут симметричными. Во время испытаний необходимо учитывать, что при питании одной из обмоток на второй может появиться опасное напряжение.

Всыпные обмотки статора выполняются из тонких круглых проводов, поэтому в них могут быть неисправности, которые несвойственны обмоткам из жестких катушек. К таким неисправностям относятся обрывы, междувитковые замыкания, замыкания между обмотками разных фаз и обмоток на корпус.

Обрыв в одной из фаз обмотки статора, соединенной в звезду, ведет к тому, что ротор при пуске не разворачивается. Если обрыв произошел во время работы двигателя, то ротор будет продолжать вращаться, но скорость вращения при номинальной нагрузке понижается, а ток значительно повышается. Это при отсутствии соответствующей защиты двигателя от перегрузки может вызвать повреждение изоляции обмотки.

Для определения обрыва в цепи статора пользуются мегомметром. Двигатель отключают от сети и измеряют сопротивление попарно между зажимами 1, 2 и 3 рубильника. При обрыве в фазе 2 (рис. 185) измерение на зажимах 1 – 3 покажет нуль, т. е. наличие металлического соединения, а измерения на зажимах 1 – 2 и 2 – 3 покажут сопротивление изоляции участка сети и обмоток двигателя. Теперь надо определить, где произошел обрыв – в сети или в обмотке двигателя. Для этого отсоединяют провода сети от зажимов двигателя и мегомметром измеряют сопротивления на зажимах 1, 2 и 3 попарно (рис. 185*б*). При внутреннем обрыве в фазе 2 измерение на зажимах 1 – 3 покажет нуль, а на зажимах 1 – 2 и 2 – 3 сопротивление изоляции между обмотками фаз.

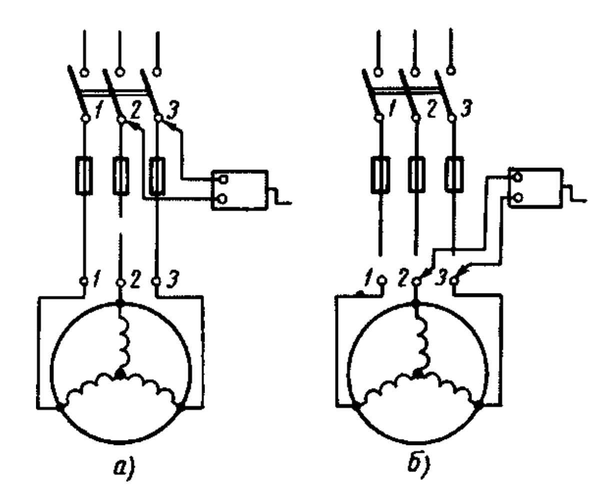


Рис. 185. Нахождение места обрыва: *а* – *в* сети, *б* – *в* обмотке статора.

Установив, в какой фазе имеется обрыв, находят, в какой катушке фазы он произошел. Для этого выводы неисправной фазы подключают к сети с напряжением не выше фазного напряжения и вольтметром измеряют напряжение на выводах каждой катушки или катушечной группы.

При измерении напряжения на выводах катушки с обрывом вольтметр покажет подводимое напряжение, а на выводах исправных катушек – нуль.
Чтобы не приходилось снимать изоляцию с межкатушечных соединений, пользуются острыми щупами, которыми прокалывают изоляцию. Окончив измерения, заклеивают проколы изоляции покровным лаком. Для безопасности работы щупы должны иметь рукоятки из изоляционного материала.
Обрыв в одной из фаз обмотки статора, соединенной в треугольник, труднее обнаружить в процессе эксплуатации. В этом случае получается так называемый открытый треугольник, при котором образуется вращающееся поле, и ротор двигателя при включении разворачивается. Но так как работают только две фазы, мощность двигателя понижается. Если измерить токи в фазе, то они будут различными, а скорость вращения ротора ниже номинальной. При номинальной нагрузке двигателя ток в одной из фаз на 73% больше, чем в двух других фазах. Обмотка фазы, имеющей обрыв, при работе двигателя не нагревается, она остается холодной.

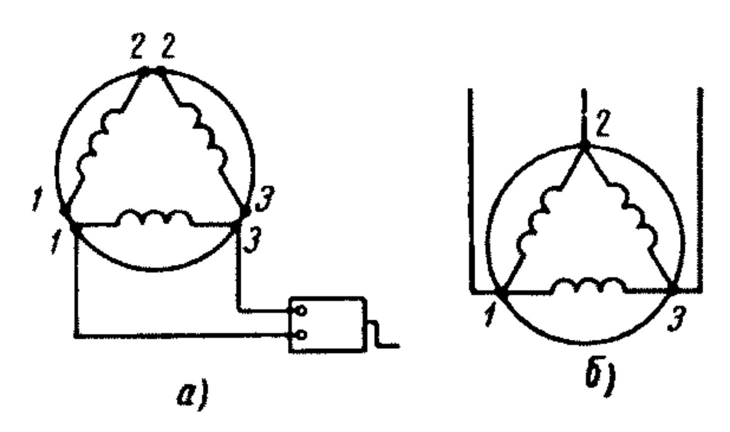


Рис. 186. Нахождение места обрыва в обмотке статора, соединенной в треугольник:
а – при шести выводах, *б* – при трех выводах.

Если обмотка имеет шесть выводов, то разъединяют общие точки и измеряют сопротивления каждой фазы мегаометром (рис. 186*а*). При измерениях фаз, не имеющих обрывов, мегомметр покажет нуль, а на зажимах третьей фазы, в которой имеется обрыв, мегомметр покажет сопротивление изоляции между обмотками. При измерении мегомметром следует учесть, что на зажимах фаз может образоваться повышенное напряжение.
Если обмотка статора имеет только три вывода (рис. 186*б*), то обнаружить фазу, имеющую обрыв, можно измерением сопротивления обмоток по методу амперметра и вольтметра или мостом при питании каждой фазы постоянным током. При измерении между точками 1 и 2, а также между точками 2 и 3 величины сопротивлений будут одинаковыми, а при измерении между точками 1 и 3, при обрыве в фазе 3, сопротивление будет равно сумме сопротивлений обмоток двух фаз. При отсутствии моста и источника постоянного тока надо поочередно питать обмотку каждой фазы переменным током номинального напряжения и при каждом опыте измерять величину потребляемого тока. При подключении питания к зажимам 1 – 2 и зажимам 2 – 3 (рис. 186*б*) ток будет больше, чем при подключении питания к зажимам 1 – 3. Межвитковые замыкания в катушках, замыкания между обмотками разных фаз и обмоток на корпус были рассмотрены в гл. XVI.

§108. Ремонт обмоток статора из жестких катушек.

Статорные обмотки из жестких катушек, намотанных из прямоугольного провода, применяются в двигателях мощностью выше 100 кВт. В этих обмотках не бывает обрывов.

Междувитковые замыкания также встречаются редко, так как прямоугольные провода имеют усиленную изоляцию. В этих машинах выводы обмоток статора выведены на дощечку зажимов, поэтому исключается перепутывание начал и концов фаз.
Основными видами неисправностей являются замыкания между катушками разных фаз и соединение обмотки с корпусом, а также старение изоляции. Последовательность операций при замене катушки с пробитой изоляцией следующая. Чтобы вынуть поврежденную катушку, поднимают из пазов верхние стороны катушек, охватывающих шаг обмотки по пазам. Для этого снимают изоляцию межкатушечных и межфазовых соединений, бандажи, которыми лобовые части прикреплены к бандажным кольцам, удаляют распорки между лобовыми частями и распаивают соединения по шагу обмотки. Катушки, которые нужно поднять из пазов, разогревают пропусканием постоянного тока до температуры 75 – 90°С на поверхности катушек. После этого поднимают верхние стороны катушек по шагу обмотки при помощи деревянных клиньев, осторожно отгибают их внутрь статора и привязывают к лобовым частям уложенных катушек киперной лентой. Затем вынимают из пазов катушку с пробитой изоляцией и осматривают пазы статора. Если в пазах обнаруживают заусенцы, их снимают напильником и продувают пазы сжатым воздухом из шланга. В пазы вкладывают новую катушку, нагретую до температуры 75 – 90°С и осаживают ее легкими ударами молотка по деревянной осадочной доске, приложенной к катушке по всей длине пазовой части. Лобовые части катушки рихтуют деревянным молотком. Нижние стороны лобовых частей привязывают к бандажным кольцам крученым шнуром. Между лобовыми частями забивают дистанционные прокладки. В случае повреждений покровной ленты на верхних сторонах катушек ленту снимают и вновь изолируют лобовые части.
После этого опускают в пазы поднятые катушки, выравнивая выводные концы в горячем состоянии. Пазы заклинивают с двух сторон статора одновременно. Испытывают электрическую прочность корпусной и витковой изоляции уложенной обмотки. (В случае пробоя изоляции снова производят ремонт, однако каждую катушку можно поднимать из пазов не более трех раз.) Затем паяют и изолируют соединения и всю обмотку пофазно испытывают на пробой изоляции между витками и относительно корпуса. Поверхность статора покрывают лаком.

§109. Ремонт обмоток ротора.

Единая серия асинхронных двигателей в пределах мощностей от 1 до 100 кВт выпускается главным образом с короткозамкнутым ротором, залитым алюминием. Эти обмотки выполняются вне обмоточных цехов, и ремонтом их обмотчики не занимаются. Однако некоторая часть двигателей типа АК выпускается с контактными кольцами и с фазными роторами, имеющими обмотки петлевого типа, намотанные из прямоугольного провода.
В двигателях мощностью выше 100 кВт фазные роторы выполняются со стержневыми обмотками. В стержневых обмотках ротора могут быть плохие контакты в соединениях стержней и короткие замыкания в цепи ротора. Если в цепи ротора имеется плохой контакт, то двигатель с нагрузкой плохо разворачивается и не достигает номинальной скорости вращения; двигатель гудит и ток в обмотке статора сильно пульсирует; наблюдается сильный нагрев ротора, а иногда и статора. Чтобы выявить плохие контакты в соединениях стержней роторов, их тщательно осматривают. Плохие контакты в местах пайки стержней ротора обнаруживают методом падения напряжения. Он основан на том, что при плохой пайке увеличивается падение напряжения в месте контакта. На рис. 187 показана схема проверки качества контакта. К двум стержням обмотки при помощи щупов 2 подводят постоянный ток от аккумуляторной батареи вблизи хомутика 3. Другой парой щупов 1 измеряют падение напряжения милливольтметром mV. Для ограничения и регулирования тока в цепь включай реостат 4.

Ток подбирают такой, чтобы получить достаточные по величине показания милливольтметра. Измерения повторяют по каждой паре стержней. Если двигатель с фазным ротором начинает вращаться даже при разомкнутой цепи ротора, то это указывает на наличие короткого замыкания в цепи ротора или на контактных кольцах. В обмотках из тонкого провода могут быть обрывы. При обрыве в одной фазе ротор двигателя при пуске вращается с половинной скоростью и сильно гудит.

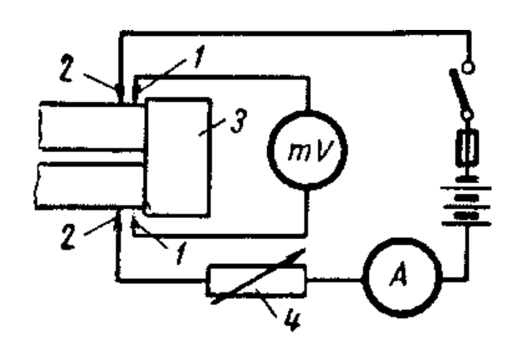


Рис. 187. Схема проверки качества контакта в стержневой обмотке.

При ремонте обмотки, прежде чем вынимать катушечные группы обмотки из пазов, выясняют схему обмотки, расположение начал и концов фаз на роторе, а также расположение соединений между катушечными группами. Изменение схемы соединений в процессе ремонта даже при соблюдении условий симметрии обмотки может привести к нарушению балансировки ротора. Однако небольшое нарушение балансировки ротора может произойти и при сохранении схемы. Поэтому в конце ремонта ротор необходимо балансировать. Для укрепления балансировочных грузов у двигателей типа АК предусмотрены штампованные кольцевые ободки.

При ремонте стержневых обмоток нужно составить схему обмотки ротора, отметив шаги обмотки со стороны выводов и с противоположной стороны ротора, расположение начал и концов фаз и перемычек. На концах стержней после зачистки выбивают номера пазов, из которых стержни были вынуты. На роторе отмечают характерные для схемы пазы, выбивая номера на поверхности ротора, чтобы при сборке обмотки после ремонта не нарушить симметрии. Записав технические данные обмотки, составляют таблицу. Если обмоточные данные не сходятся с таблицей, то выполняют схему соединений обмотки и проверяют, удовлетворяет ли она требованиям электрической симметрии. При этом могут быть обнаружены ошибки, допущенные при снятии схемы с обмотанного ротора.

Для ремонта обмотки ротор устанавливают на прочные козлы, желательно с роликовыми опорами, что намного облегчит поворот ротора при размотке и обмотке. При отсутствии роликов ротор опирают шейками вала на деревянные подшипники, на которые кладут листовой свинец и густо смазывают его тавотом. Необходимо проверить горизонтальность вала, чтобы при поворачивании ротор не сдвигался в осевом направлении, иначе ротор может упасть с козел.

Устанавливают причину и характер неисправности и решают вопрос о частичной смене обмотки или об общей перемотке в зависимости от состояния изоляции. В обоих случаях должны быть использованы медные стержни обмотки, поэтому при разгибе лобовых частей надо обращаться с ними осторожно. Размотку бандажей производят так, чтобы бандажная проволока могла быть снова использована. Ее сматывают на деревянный барабан, не допуская перехлестывания и образования барашков. Чтобы очистить проволоку от наплывов припоя, ее нагревают и протирают тряпкой с канифолью.

Хомутики распаивают паяльной лампой или электродуговым паяльником. Снятые хомутики осматривают и решают вопрос об их повторном использовании. Затем концы стержней очищают от наплывов припоя, иначе их будет трудно вытащить из пазов. После этого приступают к разгибанию лобовых частей с одной стороны ротора.

При этом снимают размеры как нормальных, так и удлиненных или укороченных стержней. При разгибании нельзя сразу выпрямить лобовую часть первого стержня, так как рядом с ним находятся лобовые части других стержней. Поэтому первый стержень разгибают лишь настолько, насколько позволяет расстояние между стержнями. Второй стержень может быть разогнут на двойную величину, третий – на тройную и т. д. Так обходят окружность ротора до тех пор, пока лобовые части не станут прямолинейными.
Для вытаскивания стержней из пазов применяют специальные приспособления. На шейке вала, обернутой картоном, устанавливают и затягивают болтами хомут 6 приспособления (рис. 188). Распорка 3 служит для того, чтобы приспособление не сдвигалось вдоль вала. Конец стержня 1 закрепляют в зажиме 2 и начинают вращать гайку 4, имеющую рукоятки. При этом винт 5 движется поступательно и тянет за собой стержень. Винт соединен шпонкой с хомутом 6, что предохраняет его от проворачивания. Вытащив из пазов все стержни, осматривают сердечник ротора, так как при разборке и транспортировке листы могут быть погнуты. Зубцы ротора выправляют стальными оправками. При разгибании стержни становятся хрупкими и при повторном загибании могут образоваться трещины. Поэтому, сняв изоляцию, стержни отжигают, нагрев их до температуры 400°С и охладив в воде. Поврежденные стержни заменяют новыми. При отсутствии провода соответствующего размера трещины запаивают твердым припоем. Мелкие повреждения, выгоревшие места, если они не превышают 5% сечения стержня, можно наплавить мягким припоем, чтобы защитить гильзы от разрывов краями углубления в стержне. Стержни сортируют на верхние, нижние, удлиненные или укороченные и перемычки. После изолировки стержни укладывают согласно выбитым номерам. При укладке каждый стержень должен быть вставлен в тот же паз, из которого он был вынут, иначе некоторые стержни могут оказаться слишком короткими и не будет выдержан шаг обмотки.

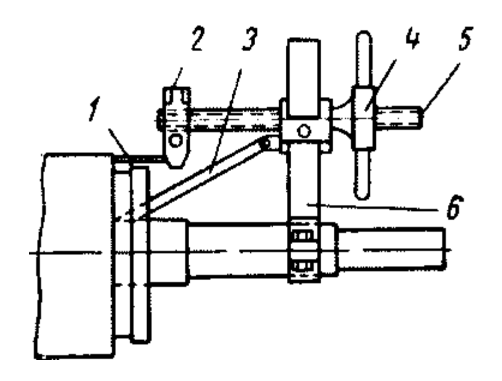


Рис. 188. Приспособление для вытаскивания стержней из пазов.

§110. Ремонт обмоток якоря.

При ремонте якоря могут наблюдаться все виды неисправностей, которые встречаются при испытаниях якорей в цехе электромашиностроительного завода. К ним относятся: соединения обмотки с корпусом, междувитковые замыкания, обрывы в обмотках и неправильные соединения выводов обмотки с коллектором. Средства для обнаружения неисправностей, которыми пользуется обмотчик при ремонте, зависят от условия работы. Если ремонт производится в обмоточном цехе крупного электроремонтного завода, то при ремонте применяют те же испытательные аппараты, которые были описаны в гл. XVI. В маленьких ремонтных мастерских или при выездных работах пользуются упрощенными методами проверки обмоток, частично описанными в этой главе.
Что касается технологических приемов выполнения ремонта, то рассмотрим только особенности некоторых ремонтных операций, так как в основном процесс перемотки выполняется так же, как и при обмотке новых якорей.

Соединение обмотки с корпусом является следствием старения изоляции, механических повреждений изоляции листами якоря, протирания пазовой изоляции в случае перемещений катушки относительно стенок паза или соединения пластин коллектора с корпусом.
Если обмотка соединена с корпусом в одной точке, то это не сказывается на работе машины. При незаземленном корпусе соединение обмотки с корпусом будет ощущаться при прикосновении к корпусу; как говорят, корпус "бьет на землю". Поэтому согласно правилам техники безопасности все промышленные электродвигатели имеют заземленные корпуса. Наличие одного соединения повышает вероятность пробоя изоляции в другом месте, так как толщина изоляции, выдерживающей рабочее напряжение машины, стала вдвое меньше.
Как только обмотка соединится с корпусом в другом месте, часть ее между этими точками окажется замкнутой накоротко, появится сильное искрение на коллекторе, а из якоря пойдет дым вследствие обугливания изоляции. Эти же явления будут наблюдаться и при соединении обмотки с корпусом в одной точке, если имеется заземление в сети.
Наличие соединения с корпусом можно обнаружить, не разбирая машины. Для этого надо взять контрольную лампу и один провод присоединить к валу, а другим поочередно касаться коллекторных пластин. В однократно замкнутой обмотке контрольная лампа загорится при соединении с любой коллекторной пластиной. В машинах с обмоткой из многовитковых катушек лампа будет гореть более ярко при касании с той пластиной, которая присоединена к катушке, имеющей соединение с корпусом.
Однако контрольной лампой можно обнаружить только такое соединение с корпусом, при котором имеется металлический контакт. Поэтому лучше пользоваться мегомметром, стрелка которого покажет наличие соединения обмотки с корпусом при окислившемся или подгоревшем контакте между ними.
Иногда соединение с корпусом устанавливается при вращении якоря, а при остановке якоря пропадает, так как между проводом обмотки и пластинами якоря образуется воздушный промежуток. Соединение происходит под действием центробежной силы, перемещающей обмотку в пазу при вращении. Обычно это наблюдается в машинах, у которых провода обмотки слишком свободно лежат в пазах. В таких случаях после разборки машины присоединяют к валу и коллектору провода от контрольной лампы и поочередно покачивают деревянным клином лобовые части катушек в местах выхода их из пазов, так как это самое вероятное место замыкания обмотки на углы зубцов якоря. Катушку, соединенную с корпусом, можно обнаружить по миганию контрольной лампы. Если лампа не загорается, то повторяют опыт, вращая ручку мегомметра и следя за его стрелкой.
Убедившись в том, что обмотка соединена с корпусом, определяют место соединения. Это можно сделать при помощи щупов (см. рис. 179). Чтобы определить положение на якоре мест соединения с корпусом, нужно знать тип обмотки, так как для петлевой и волновой обмотки методы проверки различны.
Если якорь имеет *петлевую* обмотку, питание постоянным током производится через две пластины, находящиеся на противоположных точках окружности коллектора. В качестве источника постоянного тока может служить аккумуляторная батарея, а при отсутствии ее – сеть постоянного тока напряжением 110 или 220 В. Ток регулируется реостатом в пределах 5 – 10 А. Один из проводов милливольтметра с пределом измерений 15 – 45 мВ присоединяют к валу, а другим поочередно касаются коллекторных пластин. По мере приближения к пластине, имеющей соединение с корпусом, показания милливольтметра будут уменьшаться, а на этой пластине он должен показать нуль. При отсутствии металлического контакта показания милливольтметра на соединенной с корпусом пластине коллектора будут минимальными, а затем снова начнут увеличиваться.

Обнаружив катушку, соединенную с корпусом, находят место соединения и изолируют его. Часто соединения наблюдаются в местах выхода катушек из пазов, когда изолированная поверхность обмоткодержателей ниже дна паза. Изоляция катушек, не имеющих снизу опоры, нарушается под давлением бандажа. В таких случаях устраняют соединения, забивая на дно паза прокладки из гетинакса при снятых с лобовых частей бандажах.

Если одна секция катушки соединена с корпусом, то можно отключить ее от обмотки, не вынимая из пазов. Для этого выводы секции отсоединяют от коллекторных пластин и изолируют, а между коллекторными пластинами на торцовой стороне впаивают медную пластинку, чтобы не было обрыва в обмотке (рис. 189*а*). При большом числе пластин коллектора это не скажется на работе машины.

Если якорь имеет *волновую* обмотку, то питание его постоянным током должно производиться через две коллекторные пластины, находящиеся на расстоянии половины коллекторного шага. В четырехполюсной машине эти пластины находятся на расстоянии четверти окружности коллектора. Милливольтметр подключают одним концом к валу, а другим поочередно ко всем коллекторным пластинам. При этом не надо обходить всю окружность коллектора, достаточно проверить напряжение между валом и пластинами, заключенными в шаге обмотки по коллектору. Меньшие показания милливольтметра будут на пластинах, имеющих соединение с корпусом или соединенных с ним секциями обмотки.

Определив наличие соединения в обходе обмотки, можно путем деления обхода на секции определить и секцию, имеющую соединение с корпусом. При соединении с корпусом одной секции в волновой обмотке придется отключить весь обход обмотки, состоящий из p последовательно соединенных секций (p – число пар полюсов). На рис. 189*б* показан способ отключения обхода обмотки в шестиполюсной машине.

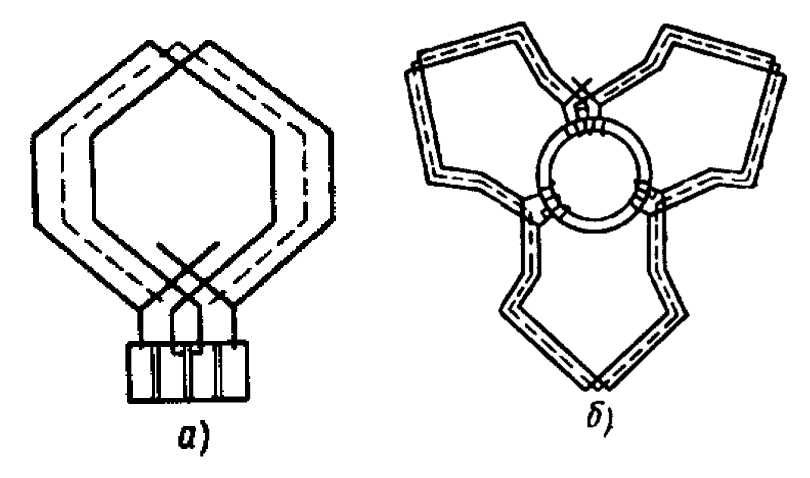


Рис. 189. Отключение секции соединенной с корпусом:
а – в петлевой обмотке, *б* – в волновой обмотке.

Междувитковые замыкания могут появиться в результате повреждения изоляции или самого провода или катушки. В первом случае будут замыкания между витками одной катушки, во втором – замыкания между соседними катушками.

В обмотке якоря протекает переменный ток. В замкнутых витках образуются очень большие токи, так как сопротивление катушки мало. Признаком междувитковых замыканий является нагрев обмотки, который вызывает распаивание соединений с коллектором и обугливание изоляции. При длительной работе машины с короткозамкнутыми витками происходит их выгорание и образуется электрическая дуга, которая может оплавить и листы сердечника якоря. При наличии междувитковых замыканий появляются большие уравнительные токи, создающие сильное искрение на коллекторе.

Короткозамкнутые витки могут быть обнаружены аппаратами типов СМ и ЕЛ. При большом числе междувитковых замыканий обмотка должна быть перемотана с заменой изоляции. Если число замкнутых секций невелико, а машину нужно срочно выпустить из ремонта, можно отключить замкнутые секции. На рис. 190*а* показан замкнутый виток четырехвитковой секции обмотки якоря; на рис. 190*б* пунктиром показаны отключенные витки, концы которых изолированы во избежание образования короткозамкнутых контуров на якоре. Пришлось отключить два витка вместо одного, чтобы в оставшейся части секции не было короткозамкнутых контуров.

Причина междувитковых замыканий может заключаться не только в нарушении изоляции катушек. При паянии коллектора или бандажей капля припоя может попасть внутрь коллектора и с течением времени замкнуть две коллекторные пластины. По схемам обмоток легко установить, что при петлевой обмотке замыкание двух соседних коллекторных пластин вызовет короткое замыкание одной секции обмотки, подключенной к этим пластинам. При волновой обмотке будет замкнут накоротко целый обход обмотки, состоящий из p последовательно соединенных секций. Замыкание между пластинами коллектора может быть обнаружено только после отпайки верхнего слоя концов секций.

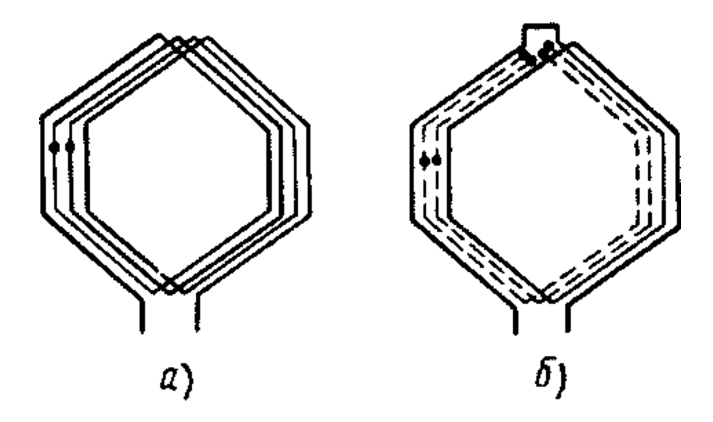


Рис. 190. Секции с замкнутым витком: *а* – замкнутый виток, *б* – отключение витка.

Обрывы в обмотках якоря бывают двух видов. В обмотках из тонкого провода при сильном натяжении бандажей и отсутствии у лобовых частей опоры со стороны обмоткодержателей могут оборваться провода обмотки. В обмотках из прямоугольного провода обрыв в цепи обмотки якоря происходит вследствие распаивания соединений с коллектором, а в разрезных обмотках – также распаивания хомутиков, соединяющих верхние и нижние стержни со стороны, противоположной коллектору.

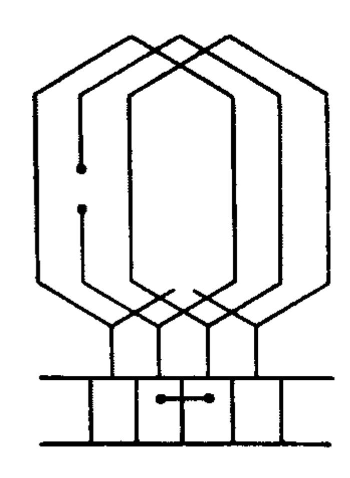
У генераторов с обрывами в обмотке якоря затруднен процесс самовозбуждения, а двигатели имеют пониженную скорость вращения. В обмотке в местах обрывов образуются электрические дуги, которые могут вызвать расплавление не только проводов обмотки, но и листов сердечника якоря. Пока имеются плохие контакты в местах паяния обмоток из прямоугольного провода, все эти признаки проявляются не сильно. Но если такая машина не будет вовремя остановлена для ремонта, то произойдет полное нарушение контактов. Если обмотка имеет уравнительные соединения, то подгорят не только пластины коллектора, соединенные с оборванной секцией, но и другие, связанные с ними уравнительными соединениями. В волновой обмотке при наличии одного обрыва подгорит p пластин, соединенных одним обходом обмотки. Чтобы найти место обрыва, пользуются аппаратами типов СМ и ЕЛ. Можно обрыв найти и при помощи щупов (см. рис. 179). При соединении щупов с пластинами, соединенными с секцией, имеющей обрыв, милливольтмер покажет нуль. В случае обрыва в одной секции обмотки она может быть отключена, так же как секции, имеющие соединение с корпусом. Схема отключения показана на рис. 191. Между пластинами коллектора впаяна перемычка.

Неправильные соединения выводов обмотки с коллектором имеют много разновидностей; наиболее часто встречающиеся из них в петлевых обмотках показаны на рис. 192. Неправильные соединения встречаются в обмотках из тонкого провода, так как концы катушек из прямоугольного провода невозможно поменять местами при укладке их в прорези коллекторных пластин.

На рис. 192, а показан так называемый простой "крест", при котором концы секций поменялись местами. Электродвижущая сила такой секции направлена встречно по отношению к соседним секциям, что вызывает искрение на коллекторе. Ввиду нарушения симметрии появляются уравнительные токи между параллельными ветвями обмотки. Эта неисправность не может быть выявлена щупами, показанными на рис. 179, так как напряжение между коллекторными пластинами 3 и 4 остается таким же, как и при правильно соединенных секциях.

Для обнаружения креста в петлевой обмотке к двум противоположным пластинам коллектора подводят постоянный ток и обводят якорь магнитной стрелкой. Стрелку подводят к каждому пазу. Если секция включена неправильно, то магнитная стрелка повернется другим концом по сравнению с ее положением против других пазов с правильно соединенными секциями обмотки.

Если же кресты сделаны у всех секций обмотки, то это равносильно замене левой обмотки правой, или наоборот. Генератор с такой неисправностью не может самовозбудиться, а электродвигатель будет вращаться в обратную сторону. Чтобы машина восстановила свои свойства, нужно изменить полярность полюсов, т. е. направление тока в обмотке возбуждения.



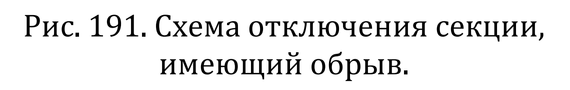


Рис. 191. Схема отключения секции, имеющий обрыв.

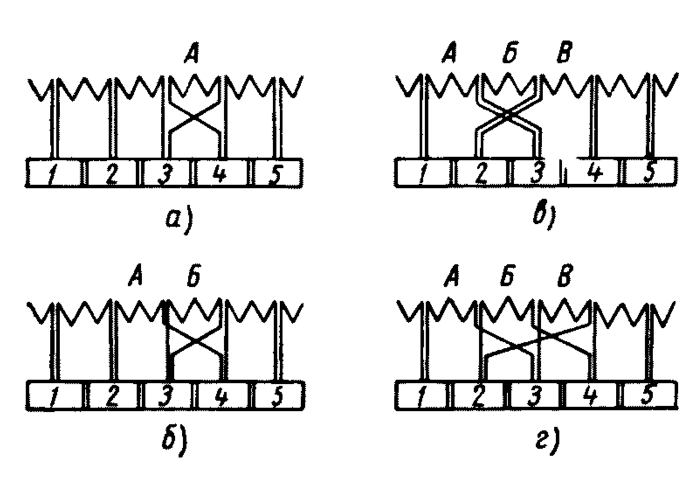


Рис. 192. Неправильные соединения обмотки с коллектором:
а – простой крест, *б* – двойное перекрещивание, *в* и *г* – тройное перекрещивание.

На рис. 192*б* конец секции А вместо пластины 3 присоединен к пластине 4, а конец секции Б вместо пластины 4 присоединен к пластине 3. При такой ошибке в соединениях секция Б окажется замкнутой накоротко. При проверке якоря щупами милливольтметр не покажет напряжения между парами пластин 2 – 3 и 3 – 4, так как пластина 3 оказывается как бы изолированной. Это можно обнаружить и контрольной лампой, которая покажет обрыв между этими парами коллекторных пластин. Отсутствие напряжения между коллекторными пластинами бывает также при междувитковых замыканиях. Поэтому, чтобы различить эти два дефекта, нужно измерить напряжение между пластинами 2 и 4. Если прибор покажет между ними такое же напряжение, как и между другими пластинами, это означает, что перепутаны концы.

На рис. 192*в* перепутаны концы трех секций А, Б и В. Это может произойти только в ручных обмотках, когда поменялись местами две петли, вкладываемые в прорези коллекторных пластин. При проверке якоря щупами с питанием через две противоположные коллекторные пластины стрелка милливольтметра, приключенного к пластинам 2 – 3, отклонится в обратную сторону, а на парах пластин 1 – 2 и 3 – 4 будет примерно двойное напряжение по сравнению с другими парами коллекторных пластин.
На рис. 192*г* изображен другой случай перепутывания концов в ручных обмотках. Конец секции А скручен в петлю с концом секции В, и оба конца соединены с пластиной 3. Конец секции Б скручен в петлю с концом секции В, которая соединена с пластиной 2. Конец секции Б присоединен к пластине 4 вместо пластины 3. При проверке якоря щупами стрелка милливольтметра, подключенного к пластинам 2 – 3, отклонится в обратную сторону, а между пластинами 1 – 2 и 3 – 4 будет двойное напряжение.
Во всех рассмотренных случаях необходимо распаять соединения концов обмотки с коллектором, исправить неправильные соединения и снова запаять коллектор.
В процессе ремонта приходится поднимать стороны катушек из пазов. У машин, длительное время находившихся в эксплуатации, стороны катушек настолько плотно прилегают к стенкам пазов, что на пазовых гильзах остаются следы листового строения зубцов. Это объясняется тем, что при работе машины вращающий момент создается от взаимодействия между проводами в пазу и зубцами. Поэтому поднимать стороны катушек из пазов нужно осторожно, чтобы не прорезать изоляцию катушек. Если катушки туго сидят в пазах, якорь перед размоткой нагревают в печи до температуры 85 – 90°С. Катушки поднимают из пазов при помощи клина из твердого дерева со скругленным концом, который забивают сначала между верхней и нижней сторонами катушек в пазу, а затем при подъеме нижнего слоя – между дном паза и нижней стороной катушки.

§111. Ремонт полюсных катушек.

Полюсные катушки разделяются на катушки, намотанные из круглого провода и шинные. Полюсные катушки применяются в машинах постоянного тока и синхронных машинах. Катушки машин постоянного тока неподвижны. Это упрощает условия их работы и делает более надежными в эксплуатации. Вращающиеся катушки синхронных машин подвергаются действию больших центробежных сил, в несколько раз превосходящих вес катушек. Поэтому многослойные катушки синхронных машин должны быть особенно тщательно исполнены. Для них используют провод с усиленной изоляцией, а при намотке прокладывают между слоями полоски электрокартона. Значительно надежнее катушки синхронных машин, намотанные на ребро из медных шин. Но и они при большой длине полюса подвержены выпучиванию витков на боковых его сторонах, поэтому между ними ставят распорки.
Основными неисправностями полюсных катушек являются соединения катушки с корпусом, обрывы и междувитковые замыкания.
Особенность полюсных катушек заключается в том, что по ним протекает постоянный ток. Поэтому в короткозамкнутых витках не наводятся э. д. с. и не протекают токи короткого замыкания. Катушки с замкнутыми витками не только не нагреваются сильно, но бывают даже холоднее других, так как при меньшем числе витков, по которым протекает ток, в них меньше потерь энергии. Кроме того, особенностью полюсных катушек являются большие размеры сечения катушки, во много раз превышающие сечения катушек, лежащих в пазах. Это учитывают при перемотке. Если, например, катушку наматывать со слишком слабым натяжением провода, то она значительно увеличится в размерах и ухудшится охлаждение внутренних витков.
Катушку, соединенную с корпусом, находят следующим образом. Отключают катушки от якоря и пропускают через них постоянный ток. К катушкам параллельного возбуждения можно подвести номинальное напряжение машин, к катушкам последовательного возбуждения – пониженное напряжение.

Один провод от вольтметра присоединяют к корпусу, а другим поочередно касаются соединительных проводов или выводных пластин катушек. Если соединения имеют ленточную изоляцию, то пользуются острыми щупами, прокалывающими изоляцию. Наименьшие показания вольтметра будут с обеих сторон от катушки, соединенной с корпусом. Для проверки катушек последовательного возбуждения пользуются милливольтметром, а в цепь питания вводят регулировочный реостат. Если катушка состоит из нескольких секций, то, обнаружив поврежденную катушку, повторяют испытание путем присоединения вольтметра к соединениям между секциями и определяют, какая из секций соединена с корпусом. Обрывы бывают только в катушках, намотанных из тонкого провода. Признаком обрыва обмотки возбуждения машин постоянного тока является отсутствие напряжения на зажимах генератора. Обрыв узнают по показаниям вольтметра, присоединяемого поочередно к выводам каждой катушки при питании их постоянным током. На исправных катушках стрелка вольтметра стоит на нуле, а при соединении с оборванной катушкой вольтметр показывает полное напряжение, так как через него замыкается токовая цепь. Обрыв можно обнаружить и при помощи мегомметра или контрольной лампы, проверяя соединения между собой выводов каждой катушки при отключении их от источника питания.

Междувитковые замыкания чаще всего наблюдаются в переходах из слоя в слой, местах крепления выводов и углах полюсов. Замыкание небольшого числа витков катушки возбуждения не сказывается на работе машины. Особенно нечувствительны к замыканиям витков машины с уравнительными соединениями в обмотке якоря. При значительном числе замкнутых витков и отсутствии уравнительных соединений в обмотке якоря машина начинает искрить на коллекторе, у генератора снижается напряжение, а у двигателя возрастает скорость вращения. Катушку полюса с замкнутыми витками узнают наощупь по меньшему нагреву. Более точно междувитковые замыкания можно определить, надев катушку на сердечник испытательного трансформатора, первичная обмотка которого питается переменным током. Тогда в замкнутых витках полюсной катушки потекут сильные токи короткого замыкания, катушка начнет быстро нагреваться и задымит.

Для определения катушек с замкнутыми витками можно, не снимая катушек с полюсов, питать цепь возбуждения переменным током. У катушки с замкнутыми витками будет пониженное напряжение и усиленный нагрев. Напряжение подбирают таким, чтобы сила тока в катушках не превосходила номинальный ток возбуждения при работе машины. При таком испытании на якоре образуется высокое напряжение, поэтому нужно соблюдать меры предосторожности против поражения током. Катушки, намотанные на металлический каркас, плохо поддаются испытаниям переменным током.

Обнаружив дефектную катушку, устраняют повреждение и снова собирают катушки на полюса. После ремонта проверяют правильность чередования полярности полюсов посредством магнитной стрелки при питании катушек постоянным током. В разобранной машине стрелкой обводят внутреннюю поверхность полюсов, а в собранной машине стрелку подносят к головкам полюсных болтов. Если дополнительные полюса имеют неправильную полярность, то они не способствуют уменьшению искрения на коллекторе, а наоборот, вызывают усиленное искрение при работе машины под нагрузкой. Неправильная полярность главных полюсов также является причиной неисправности машины. Генератор при вращении якоря не самовозбудится, в двигателе якорь будет вращаться в другую сторону. При проверке полярности главных и дополнительных полюсов следует руководствоваться схемами, показанными на рис. 182.

Контрольные вопросы.
1. Какие виды ремонтов обмоток вы знаете?
2. В чем заключается текущий и капитальный ремонт обмоток?
3. Почему упростился ремонт обмоток после внедрения единых серий?
4. В чем заключается подготовка к ремонту обмоток?
5. Какие неисправности всыпных обмоток встречаются при ремонте?
6. Как извлекают из пазов жесткую катушку двухслойной обмотки?
7. Опишите процесс ремонта стержневой обмотки ротора.
8. Как обнаруживают соединение с корпусом обмотки якоря?
9. Какие неправильности соединений обмотки якоря с коллектором вы знаете?
10. Как обнаружить замыкание витков в полюсной катушке?

Глава XVIII
Пересчет обмоток при ремонте.
§112. Замена диаметра обмоточного провода.

При ремонте обмоток надо стремиться к тому, чтобы отремонтированная обмотка ничем не отличалась от обмотки заводского исполнения. Это относится к диаметру и марке обмоточного провода, числу проводов в пазу, числу витков в катушке и фазе, к пазовой изоляции, изоляции лобовых частей и др. Обмоточные провода изготовляются только стандартных размеров. В табл. 7 приведены номинальные диаметры круглых проводов, применяемых для всыпных обмоток статора и якоря, их сечения, веса и сопротивления 1 км. медного провода. При расчете размещения проводов в пазу учитывают толщину изоляции провода. Толщина изоляции зависит от диаметра голого провода и вида его изоляции. В табл. 8 приведена толщина двусторонней изоляции для наиболее употребительных марок проводов. Обозначения марок проводов расшифровываются следующим образом:
ПБД – медный провод, изолированный двумя слоями хлопчатобумажной обмотки;
ПСД – медный провод, изолированный двумя слоями обмотки из стеклянной пряжи;
ПДА – медный провод с асбестовой изоляцией;
ПЭЛБО – медный провод, изолированный лакостойкой эмалью и одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи;
ПЭЛ – медный провод, изолированный лакостойкой эмалью;
ПЭВ – 2 – медный провод, изолированный двумя слоями эмали на поливинилацеталевой основе;
ПЭВА – 2 – алюминиевый провод, изолированный двумя слоями эмали на поливинилацеталевой основе;
ПЭЛРА – 2 – алюминиевый провод, изолированный двумя слоями эмали на полиамиднорезольной основе.
Как видно из таблицы, наименьшую толщину изоляции имеют провода с эмалевой изоляцией, затем следуют провода с комбинированной эмалеволокнистой изоляцией (ПЭЛБО). Наибольшую толщину имеет двухслойная волокнистая изоляция (ПБД, ПСД).
Толщина изоляции провода имеет важное значение, особенно в многовитковых обмотках. Это можно показать на следующем примере. При диаметре голого провода 1 мм. двусторонняя толщина изоляции провода ПБД составляет 0,27 мм, а провода ПЭВ – 2 – 0,1 мм. Диаметры изолированных проводов получим, прибавляя к диаметру голого провода двустороннюю толщину изоляции. Следовательно, диаметр изолированного провода ПБД будет 1,27 мм, а провода ПЭВ – 2 – 1,1 мм.
При укладке всыпных обмоток в пазы рассчитывают коэффициент заполнения паза k по формуле:

$$k = \frac{n \times d^2из}{F} \quad (45)$$

где n – число проводов в пазу; dиз – диаметр изолированного провода, мм.; F – площадь паза за вычетом площади пазовой изоляции и деревянного клина, мм^2.

Пользуясь этой формулой, можно установить, что в паз с площадью 285 мм^2 при коэффициенте заполнения паза 0,7 и диаметре голого провода 1 мм. можно уложить 124 провода ПБД или 165 проводов ПЭВ – 2. Расчетная мощность машины примерно пропорциональна общему сечению проводов в пазу. Таким образом, чем тоньше изоляция провода, тем больше проводов будет в пазах и тем большую мощность имеет машина.

Если при ремонте отсутствует провод нужного диаметра, то его можно заменить двумя проводами меньшего диаметра, общее сечение которых будет примерно таким же, как сечение заменяемого провода. При этом диаметр применяемого провода должен быть примерно в $\sqrt{2}$= 1,4 раза меньше диаметра заменяемого провода.

Например, в перемотку поступил статор асинхронного двигателя, обмотанный проводом марки ПЭЛБО, диаметр которого без изоляции 2,1 мм. Такого провода в данный момент на складе ремонтного цеха нет. Определим диаметр d провода, которым его можно заменить.

$$d = \frac{2{,}1}{1{,}4} = 1{,}5 \text{ мм.}$$

Сечение провода диаметром 2,1 мм. по табл. 7 равно 3,46 мм^2 Сечение двух проводов диаметром 1,5 мм. равно 2,1 × 1,767 = 3,54 мм^2. Если на складе нет провода диаметром 1,5 мм, можно взять провод ближайшего меньшего диаметра 1,45 мм. Сечение двух таких проводов будет 2,1 × 1,651=3,3 мм^2. В обоих случаях замена провода диаметром 2,1 мм. двумя проводами является допустимой, так как их общее сечение незначительно отличается от сечения заменяемого провода. Можно заменить один провод двумя проводами разных диаметров, подбирая их так, чтобы общее сечение двух проводов было равно сечению заменяемого провода. Для подбора проводов пользуются табл. 9.

Например, надо заменить провод диаметром 1,3 мм. двумя проводами такого же сечения. Если одним из этих проводов будет провод 1 мм, то вторым проводом будет провод диаметром 0,83 мм. Если одного из них нет на складе, то можно взять провода диаметром 0,96 и 0,86 мм. или диаметром 1,04 и 0,77 мм. Пользуясь табл. 9, можно быстро, не производя никаких расчетов, подобрать диаметры заменяющих проводов.

При замене одного провода двумя катушки обмотки наматывают одновременно с двух барабанов. Общее число проводов в пазу будет в два раза больше. Тонкие провода легче вкладывать в прорезь полузакрытого паза, но коэффициент заполнения паза увеличится и, следовательно, провода будут теснее лежать в пазу. Это объясняется тем, что при одинаковом объеме меди в пазу увеличится объем витковой изоляции.

Например, при замене провода ПЭЛБО диаметром 2,1 мм. двумя проводами той же марки диаметром 1,5 мм. и двусторонней толщине изоляции провода 0,21 мм. (см. табл. 8) диаметр изолированного провода будет 2,1 + 0,21=2,31 мм., а диаметр заменяющего провода 1,5 + 0,21 = 1,71 мм. Поэтому в числитель формулы (45) в первом случае надо поставить 2,312 = 5,4 мм^2, а во втором случае 2 × 1,712 = 5,85 мм^2, т. е. коэффициент заполнения паза увеличится на 8%.

§113. Замена медных проводов алюминиевыми.

Тенденция к замене медных проводов алюминиевыми наметилась несколько десятков лет назад. Алюминия содержится в земной коре 8%, а меди – всего 0,0001%. Выплавка алюминия в мировом масштабе за последнее десятилетие увеличилась в четыре раза, тогда как производство меди растет ежегодно на 5 – 6%. Алюминия содержится в рудах 40 – 60%, а меди только 1 – 1,5%. Простота получения и дешевизна алюминия обусловили стремление к увеличению его производства и потребления.

В электромашиностроении применение алюминия началось с короткозамкнутых обмоток асинхронных двигателей. Заливка роторов алюминием изменила технологию выполнения обмоток роторов по сравнению с обмотками из медных сплавов. Даже повышенное по сравнению с медью сопротивление алюминия является положительным фактором, увеличивая пусковой момент двигателя и снижая пусковой ток. В настоящее время все большее применение находят алюминиевые обмоточные провода для всыпных обмоток статора асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт и напряжением до 500 В. Без применения алюминиевых проводов нельзя поднять производство электрических машин до уровня, обеспечивающего заданные темпы сплошной электрификации страны. Каждая тонна меди, замененная алюминием, дает экономию на снижении капиталовложений в цветную металлургию около 2 млн. руб. и, что особенно важно, сокращает сроки наращивания новых мощностей.
Алюминиевые обмоточные провода изготовляются тех же стандартных размеров, что и медные, но, конечно, веса и сопротивления алюминиевых проводов будут иными, чем указано в табл. 7. В обозначениях марок алюминиевых обмоточных проводов всегда имеется буква А. Исключением является медный провод марки ПДА с асбестовой изоляцией. Наиболее употребительны алюминиевые провода марок ПЭВА – 2 и ПЭЛРА – 2 с эмалевой изоляцией.
Недостатками алюминиевых проводов по сравнению с медными являются меньшая электрическая проводимость, механическая прочность и объемная теплоемкость, а также худшая теплопроводность. Важными преимуществами алюминиевых проводов являются значительно меньший удельный вес, большая мягкость и эластичность, облегчающая их укладку в пазы, и значительно лучшее сцепление с эмалевой изоляцией, повышающее надежность работы машины.
При замене медных проводов алюминиевыми для сохранения прежних значений пускового и максимального моментов следует оставить неизменной величину магнитной индукции, а следовательно, и число активных проводов в пазу. Так как удельное электрическое сопротивление алюминия в 1,63 раза больше, чем у меди, то при том же диаметре обмоточного провода надо уменьшить силу тока, а следовательно, и мощность двигателя. Однако при замене медных проводов марок ПБД и ПЭЛБО и изоляцией класса А алюминиевыми у двигателей старых серий в большинстве случаев удается сохранить мощность двигателя прежней путем уменьшения толщины витковой и корпусной изоляции и перехода на изоляцию класса Е.
В табл. 10 приведены технические данные для замены медных проводов ПЭЛБО алюминиевыми ПЭВА – 2 или ПЭЛРА – 2. По первой строке таблицы видим, что диаметр изолированного алюминиевого провода больше медного всего в: 0,625 / 0,595 =1,05 раза, в то же время диаметр голого провода увеличился в 0,57 / 0,44 = 1,3 раза, а сечение провода в 0,256 / 0,152 = 1,68 раза. Таким образом, сила тока и мощность двигателя при алюминиевой обмотке могут быть сохранены теми же, какие были при медной обмотке. Повышение коэффициента заполнения паза на 10% вполне допустимо вследствие большей эластичности алюминиевых проводов. Однако, учитывая меньшую теплоемкость и худшую теплопроводность алюминия, следует взять изоляцию не класса А, а класса Е Обмоточные провода марок ПЭВА – 2 и ПЭЛРА – 2 могут быть отнесены к этому классу изоляции.
В пазовых гильзах надо заменить электрокартон и лакоткань на пленкоэлектрокартон на лавсане в комбинации со стеклотканью. При отсутствии пленкоэлектрокартона на лавсане можно заменить лавсан комбинацией гибкого слюдинита со стеклолакотканью и электрокартоном. При этом одновременно можно снизить толщину пазовой гильзы по сравнению с трехслойной гильзой, показанной на рис. 13*а*. При замене медных проводов ПБД алюминиевыми ПЭВА – 2 или ПЭЛРА – 2 можно еще больше увеличить диаметр алюминиевого провода, а следовательно, сделать отремонтированный двигатель еще более надежным в эксплуатации. Так, например, вместо медного провода ПБД диаметром 0,44 мм. можно взять алюминиевый провод ПЭВА – 2 диаметром 0,64 мм.

Однако, учитывая меньшую теплоемкость и худшую теплопроводность алюминия, следует взять изоляцию не класса А, а класса Е Обмоточные провода марок ПЭВА – 2 и ПЭЛРА – 2 могут быть отнесены к этому классу изоляции. В пазовых гильзах надо заменить электрокартон и лакоткань на пленкоэлектрокартон на лавсане в комбинации со стеклотканью. При отсутствии пленкоэлектрокартона на лавсане можно заменить лавсан комбинацией гибкого слюдинита со стеклолакотканью и электрокартоном. При этом одновременно можно снизить толщину пазовой гильзы по сравнению с трехслойной гильзой, показанной на рис. 13*а*. При замене медных проводов ПБД алюминиевыми ПЭВА – 2 или ПЭЛРА – 2 можно еще больше увеличить диаметр алюминиевого провода, а следовательно, сделать отремонтированный двигатель еще более надежным в эксплуатации. Так, например, вместо медного провода ПБД диаметром 0,44 мм. можно взять алюминиевый провод ПЭВА – 2 диаметром 0,64 мм.

Таблица 7. Номинальные диаметры, сечения, веса и сопротивления
1 км обмоточного круглого медного провода.

Диаметр *d*, мм.	Сечение *s*, мм²	Вес 1 км G, кг.	Сопротивление 1 км. при 15°С, ом	Диаметр *d*, мм.	Сечение *s*, мм²	Вес 1 км. G, кг.	Сопротивление 1 км. при 15°С, ом
0,15	0,01767	0,1571	974	(0,77)	0,466	4,14	26,9
0,16	0,0201	0,1788	856	0,8	0,503	4,47	34,2
0,17	0,0227	0,202	758	(0,83)	0,541	4,81	31,8
0,18	0,0255	0,226	674	0,86	0,581	5,16	29,6
0,19	0,0284	0,252	606	(0,9)	0,636	5,66	27
0,2	0,0314	0,279	548	0,93	0,679	6,04	25,3
0,21	0,0346	0,308	497	(0,96)	0,724	6,43	23,8
0,23	0,0415	0,369	415	1	0,785	6,98	21,9
0,25	0,0491	0,436	351	(1,04)	0,849	7,55	20,3
0,27	0,0573	0,509	300	1,08	0,916	8,14	18,79
0,29	0,0661	0,587	260	(1,12)	0,985	8,75	17,47
0,31	0,0755	0,671	228	1,16	1,057	9,4	16,28
0,33	0,0855	0,76	201	(1,2)	1,131	10,05	15,22
0,35	0,0962	0,855	178,8	1,25	1,227	10,91	14,02
0,38	0,1134	1,008	151,8	(1,3)	1,327	11,8	12,96
0,41	0,132	1,173	130,3	1,35	1,431	12,73	12,01
0,44	0,1521	1,352	113,2	(1,4)	1,539	13,69	11,18
0,47	0,1735	1,542	99,2	1,45	1,651	14,68	10,41
(0,49)	0,1886	1,676	91,3	(1,5)	1,767	15,71	9,74
0,51	0,204	1,816	84,4	1,56	1,911	16,99	9
(0,53)	0,221	1,951	77,8	(1,62)	2,06	18,32	8,36
0,55	0,238	2,11	72,3	1,68	2,22	19,71	7,75
(0,57)	0,255	2,27	67,5	(1,74)	2,38	21,1	7,23
0,59	0,273	2,43	63	1,81	2,57	22,9	6,7
(0,62)	0,302	2,68	57	(1,88)	2,78	24,7	6,19
0,64	0,322	2,86	53,4	1,95	2,99	26,5	5,76
(0,67)	0,353	3,13	48,7	(2,02)	3,2	28,5	5,38
0,69	0,374	3,32	46	2,1	3,46	30,8	4,97
(0,72)	0,407	3,62	42,3	2,26	4,01	35,7	4,29
0,74	0,43	3,82	40	2,44	4,68	41,6	3,68

В скобках поставлены диаметры проводов, которые не рекомендуется применять.

Таблица 8. Толщина двусторонней изоляции круглых проводов, мм.

Марка провода	при диаметрах проводов, мм.								
	0,1 – 0,19	0,2 – 0,25	0,27 – 0,29	0,31 – 0,35	0,38 – 0,49	0,51 – 0,68	0,72-0,96	1-1,45	1,5 – 2,1
ПБД	–	0,19	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,27	0,27
ПСД	–	–	–	0,23	0,23	0,25	0,25	0,27	0,27
ПДА	–	–	–	–	–	–	–	0,3	0,3
ПЭЛБО	–	0,13	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,21	0,21
ПЭЛ	0,02	0,025	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,08	0,1
ПЭВ – 2	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,13
ПЭВА – 2 ПЭЛРА – 2	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,08	0,08	0,09

Таблица 9. Замена круглого провода двумя проводами эквивалентными по суммарному сечению.

Диаметр второго заменяющего провода, мм.	Диаметр заменяемого провода, мм														
	1	1,04	1,08	1,12	1,16	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,56	1,62	1,68
	Диаметр первого заменяющего провода, мм.														
0,44	0,9	–	–	–	1,08	1,12	–	–	–	–	–	–	1,5	1,56	1,62
0,47	–	0,93	–	–	–	–	1,16	–	–	–	–	–	–	–	–
0,49	–	–	0,96	–	–	–	–	1,2	–	–	–	–	–	–	–
0,51	0,86	0,9	–	1	1,04	1,08	–	–	1,25	1,3	–	–	–	–	–
0,53	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,35	1,4	–	–	–
0,55	0,83	–	0,93	–	–	–	1,12	–	–	–	–	–	–	–	–
0,57	–	–	–	0,96	–	–	–	1,16	–	–	–	–	1,45	–	–
0,59	0,8	0,86	0,9	–	1	1,04	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,62	–	0,83	–	0,93	–	–	1,08	–	1,2	1,25	–	–	–	1,5	1,56
0,64	0,77	–	0,86	–	0,96	–	–	1,12	–	–	1,3	1,35	–	–	–
0,67	–	0,8	–	0,9	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,69	0,72	0,77	0,83	–	0,93	–	1,04	–	1,16	–	–	–	1,4	–	–
0,72	0,69	0,74	0,8	0,86	–	0,96	–	1,08	–	1,2	–	–	–	1,45	–
0,74	–	0,72	–	0,83	0,9	–	1	–	1,12	–	1,25	1,3	–	–	–
0,77	0,64	0,69	–	0,8	0,86	–	–	1,04		1,16	–	–	1,35	–	1,5
0,8	0,59	0,67	0,72	0,77	0,83	0,9	0,96	–	1,08	–	1,2	–	–	1,4	–
0,83	0,55	0,62	0,69	0,74	0,8	0,86	0,93	1	–	1,12	–	1,25	–	–	–
0,86	0,51	0,59	0,64	0,72	0,77	0,83	0,90	0,96	1,04		1,16	–	1,3	–	1,45
0,9	0,44	0,51	0,59	0,67	0,74	0,8	0,86	0,93	1	1,08	–	1,2	–	1,35	–
0,93	–	0,47	0,55	0,62	0,69	–	0,83	0,9	0,96	1,04	1,12	–	1,25	–	1,4
0,96	–	–	0,49	0,57	0,64	0,72	0,8	0,86	0,93	1	1,08	1,16	–	1,3	–
1	–	–	–	0,51	0,59	0,67	0,74	0,83	0,9	0,96	1,04	1,12	1,2	–	1,35
1,04	–	–	–	–	0,51	0,59	0,69	0,77	0,86	0,93	1	1,08	1,16	1,25	1,3
1,08	–	–	–	–	0,44	0,51	0,62	0,72	0,8	0,9	0,96	1,04	1,12	1,2	–
1,12	–	–	–	–	–	0,44	0,55	0,64	0,74	0,83	0,93	1	1,08	1,16	1,25
1,16	–	–	–	–	–	–	0,47	0,57	0,69	0,77	0,86	0,96	1,04	1,12	1,2
1,2	–	–	–	–	–	–	–	0,49	0,62	0,72	0,8	0,9	1	1,08	1,16
1,25	–	–	–	–	–	–	–	–	0,51	0,62	0,74	0,83	0,93	1,04	1,12
1,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,51	0,64	0,74	0,86	0,96	1,04
1,35	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,53	0,64	0,77	0,9	1
1,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,53	0,69	0,8	0,93
1,45	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,57	0,72	0,86
1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,44	0,62	0,77
1,56	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,44	0,62
1,62	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		0,44

Таблица 10. Замена медных проводов алюминиевыми.

Медный провод ПЭЛБО			Алюминиевый провод ПЭВА-2 или ПЭЛРА-2		
Диаметр голого провода *d*, мм.	Диаметр изолированного провода *d*из, мм.	Сечение провода, *S*, мм^2	Диаметр голого провода *d*, мм.	Диаметр изолированного провода *d*из, мм.	Сечение провода *S*, мм^2.
0,44	0,595	0,152	0,57	0,625	0,256
0,47	0,625	0,173	0,59	0,645	0,273
0,49	0,645	0,188	0,62	0,675	0,302
0,51	0,67	0,204	0,64	0,7	0,322
0,53	0,69	0,221	0,67	0,73	0,353
0,55	0,71	0,238	0,69	0,75	0,374
0,57	0,73	0,255	0,69	0,75	0,374
0,59	0,75	0,273	0,72	0,78	0,407
0,62	0,78	0,302	0,74	0,805	0,436
0,64	0,80	0,322	0,77	0,835	0,466
0,67	0,83	0,353	0,8	0,865	0,503
0,69	0,85	0,374	0,83	0,895	0,541
0,72	0,89	0,407	0,86	0,925	0,581
0,74	0,91	0,43	0,9	0,965	0,636
0,77	0,94	0,466	0,93	0,995	0,679
0,8	0,97	0,503	0,96	1,025	0,724
0,83	1,0	0,541	0,96	1,025	0,724
0,86	1,03	0,581	1,0	1,08	0,785
0,9	1,07	0,636	1,04	1,12	0,849
0,93	1,1	0,679	1,08	1,16	0,916
0,96	1,13	0,724	1,12	1,2	0,985
1,0	1,2	0,785	1,16	1,24	1,067
1,04	1,24	0,849	1,2	1,28	1,131
1,08	1,29	0,916	1,25	1,33	1,237
1,12	1,32	0,985	1,3	1,38	1,327
1,16	1,36	1,067	1,35	1,43	1,431
1,2	1,4	1,131	1,4	1,48	1,539
1,25	1,45	1,227	1,45	1,53	1,651
1,3	1,5	1,327	1,5	1,58	1,767
1,35	1,55	1,431	1,56	1,64	1,911
1,4	1,6	1,539	1,62	1,7	2,061
1,45	1,65	1,651	1,68	1,76	2,212
1,5	1,7	1,767	1,74	1,82	2,379
1,56	1,76	1,911	1,81	1,89	2,573
1,62	1,82	2,061	1,88	1,96	2,776
1,68	1,88	2,217	1,95	2,03	2,986
1,74	1,94	2,379	1,95	2,03	2,986
1,81	2,01	2,573	2,02	2,1	3,205
1,88	2,08	2,786	2,1	2,19	3,464
1,95	2,15	2,986	2,1	2,19	3,464
2,02	2-23	3,205	2,26	2,35	4,011
2,1	2,31	3,464	2,26	2,35	4,011

§114. Пересчет обмоток асинхронных двигателей.

Для асинхронных двигателей единой серии имеются готовые обмоточные данные, приведенные в справочной литературе, пользуясь которыми можно переделать параметры двигателя. В этих книгах приведены обмоточные данные всех типов двигателей, схемы обмоток, их изоляция и др. Зная тип двигателя, можно найти технические данные для частичного и полного восстановления его обмоток или переделки данного двигателя на двигатель с другими стандартными напряжениями или скоростями вращения.
Заводские обмоточные и технические данные, приведенные в литературе, имеют большую ценность, чем результаты упрощенных расчетов, так как они основаны на подробных расчетах, опыте испытания пробных образцов и эксплуатации двигателей в народном хозяйстве. В связи с этим необходимость в пересчетах значительно уменьшилась. Тем не менее, еще встречаются случаи, когда приходится прибегать к упрощенным расчетам. Здесь приводятся основы теории этих расчетов с числовыми примерами. К таким пересчетам относятся: переделка двигателя на другое напряжение; переделка двигателя на другую скорость вращения; перевод двигателя на другую частоту.
Простейшим способом переделки двигателя на другое напряжение является переключение обмотки статора. Например, двигатель с соединением фаз в треугольник, работающий от сети 220 В, может работать от сети 380 В после соединения обмотки статора в звезду. Аналогично можно переключить двигатель с питания от сети напряжением 380 В на напряжение 660 В. В "Справочнике молодого обмотчика электрических машин" в главе XX приведены все возможные переключения двигателей с одного напряжения на другое. Если же ни одно из переключений не подходит, то приходится перематывать статор двигателя. При перемотке должны быть выдержаны нормали на изоляцию обмотки, как в отношении ее электрической прочности, так и нагревостойкости. Э. д. с. в фазе обмотки статора выражается формулой:

$$E = 0{,}93 \times U = 4{,}44 \times f \times k\text{о} \times w \times \Phi \quad \text{В} \quad (46)$$

где f – частота переменного тока, гц; kо – обмоточный коэффициент обмотки; w – число последовательно соединенных витков фазы; Φ – магнитный поток на полюс, *вб*. (Вебер – единица измерения магнитного потока в международной системе единиц СИ (ГОСТ 9867 – 61), 1 *вб* = 10^8 = *мкс*.)
Обмоточный коэффициент представляет собой произведение двух величин: коэффициента укорочения шага обмотки и коэффициента распределения обмотки по пазам.
Коэффициент укорочения – это отношение укороченного шага по пазам к диаметральному шагу. Например, для обмотки статора с числом пазов z = 36, числом полюсов $2p$ = 4 и шагом по пазам yz = 7 диаметральный шаг был бы: yz = 36 / 4 = 9, а укорочение шага: 7 / 9 = 0,78.
Коэффициент распределения обмотки по пазам зависит от того, из скольких катушек состоит катушечная группа обмотки. Так, например, для данного статора число катушек в катушечной группе будет равно числу пазов на полюс и фазу, который по формуле (3): q = 36 / 4 × 3 = 3 Числовые значения обмоточных коэффициентов трехфазных обмоток приведены на табл. 11. Так, например, для обмотки с укорочением шага 0,8 и числом катушек в катушечной группе 3 обмоточный коэффициент будет = 0,913.
При перемотке на другое напряжение магнитный поток и частота остаются неизменными, что достигается изменением числа витков w пропорционально напряжению U.

Следовательно:

$$w\text{н} = wc \times \frac{U\text{н}}{Uc} \quad (47)$$

где индекс "с" относится к обмотке до переделки (старой), а индекс "н" – к обмотке после перемотки (новой). При перемотке на другое напряжение мощность двигателя сохраняется, поэтому ток I фазы изменится обратно пропорционально напряжению:

$$I\text{н} = Ic \times \frac{U\text{с}}{U\text{н}} \quad (48)$$

В соответствии с изменением тока должно быть изменено и сечение провода, чтобы плотность тока осталась прежней:

$$s\text{н} = sc \times \frac{Uc}{U\text{н}} \quad (49)$$

Однако эти требования нельзя выдержать точно, так как обмоточные провода, как мы уже говорили, изготовляются только стандартных размеров. При замене обмотки надо проверить коэффициент заполнения паза проводами по формуле (45).
Например, требуется перемотать на напряжение сети 500 В с соединением фаз в звезду электродвигатель единой серии А 52/4. Мощность двигателя 7 кВт, напряжение 220/380 В, соединение фаз Δ/Y, ток 24,6/14,2А, число полюсов $2p = 4$. Провод ПЭЛБО, диаметр голого провода 1,4 мм., Nэ = 22 эффективным проводам в пазу, катушки намотаны в nп = 2 параллельных провода, обмотка однослойная, пазов в статоре $z = 36$, площадь паза 206 мм^2.
Фазное напряжение двигателя до перемотки было 220 В при обеих схемах соединения обмотки, после перемотки фазное напряжение будет 500 / 1,73 = 289 В. Число витков в фазе до перемотки можно определить по формуле:

$$w\text{с} = \frac{N\text{э} \times z}{2m} \quad (50)$$

где m – число фаз, wс = 22 × 36 / 2 × 3 = 132 Число витков в фазе после перемотки по формуле (47):wн =wс × (Uн / Uс) = 132 × (289 / 220) = 174. В такой же пропорции должно возрасти число эффективных проводов в пазу:

Nэ.н = Nэ.н × (Uн / Uс)

Nэ.н = 22 × (28 / 220) = 29

Ток в фазе после перемотки по формуле (48):

Iн = Iс × (Uс / Uн) = 14 2 × (220 / 289) = 10,8А

В соответствии с этим сечение провода после перемотки по формуле (49) при сохранении прежнего числа параллельных проводов: sн = sс × (Uс / Uн) = 1,539 × (220 / 289) = 1,18 мм^2.
(Сечение провода до перемотки берем из табл. 7). Находим по табл. 7 ближайшее сечение 1,131 мм^2, которому соответствует диаметр провода d = 1,2 мм. Двухсторонняя толщина изоляции этого провода по табл. 8 равна 0,21 мм. Диаметр изолированного провода: $d_{\text{из}}$ = l,2 + 0,21 = 1,41 мм. Схема обмотки статора при перемотке останется прежней. Чтобы заказать новый провод, измеряем длину 1 витка старой обмотки. Она оказывается равной 0,68 м. Всю длину L обмотки определим по формуле:

$$L = l \times n\text{п} \times m \times w\text{н} \quad (51)$$

L = 0,68 × 2 × 3 × 174 = 710 м.

По табл. 7 вес 1 км. провода диаметром 1,2 мм. составляет 10,05 кг., следовательно, вся обмотка весит 0,71 × 10,05 = 7,1 кг. Учитывают вес изоляции, вводя коэффициент 1,02, и заказывают 7,25 кг. провода ПЭЛБО.
Сопротивление 1 км провода диаметром 1,2 мм. составляет 15,22 Ом (табл. 7). Сопротивление всего провода обмотки было бы 0,71 × 15,22 = 10,8 Ом. Но обмотка выполнена в два параллельных провода, поэтому длина ее в два раза меньше, а сечение в два раза больше, т. е. сопротивление всей обмотки уменьшилось в четыре раза. Сопротивление одной фазы составляет одну треть от сопротивления всей обмотки. Следовательно, сопротивление фазы: 10,8 / 4 × 3 = 0,9. Осталось проверить коэффициент заполнения паза проводами, который по формуле (45) не должен превышать 0,75. Полезную площадь паза за вычетом площади пазовой гильзы и клина при однослойной обмотке можно приближенно определить, разделив общую площадь паза на 1,25. Таким образом: F_n = 206 × 1,25 = 165 мм². Коэффициент заполнения паза после перемотки по формуле (45):

$$k = N \times d^2_{из} / F_п = 58 \times 1{,}41^2 / 165 = 0{,}7,$$ что вполне допустимо.

Переделка двигателя на другую скорость вращения сложнее, чем переделка на другое напряжение, так как при этом меняется мощность двигателя, число полюсов, число пазов на полюс и фазу, число катушечных групп, шаг обмотки, число витков в фазе и сечение провода. Кроме того, при изменении числа полюсов изменяются полюсное деление и индукции в магнитной цепи, поэтому при пересчете надо знать размеры сердечника двигателя, приведенные на рис. 193.

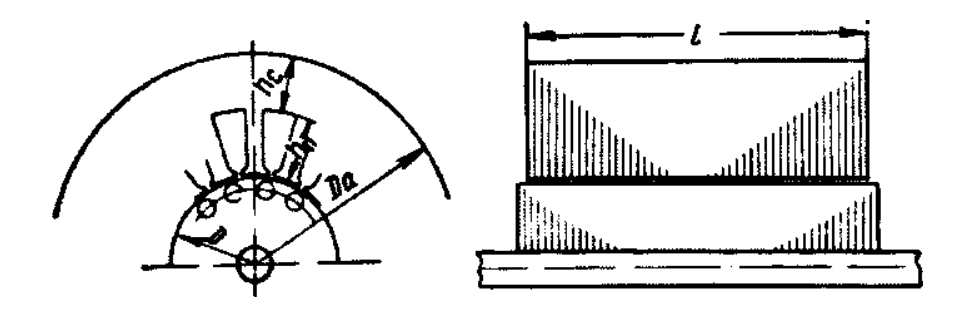


Рис. 193. Размеры сердечника асинхронного двигателя.

При пересчете на меньшую скорость вращения уменьшается мощность двигателя, при пересчете же на большую скорость вращения мощность двигателя растет, но зато увеличиваются индукции в магнитной цепи. Поэтому при пересчете на большую скорость отношение скоростей должно быть не более 3 : 2. При необходимости большего увеличения скорости берут другой сердечник с меньшим внутренним диаметром статора. С повышением скорости вращения при сохранении наружного диаметра статора внутренний его диаметр уменьшается, что позволяет увеличить толщину спинки статора h_c. Таким образом, для одного и того же габарита в производстве имеются 2 – 3 штампа для листов статора и ротора.
Рассмотрим конкретный пример пересчета двигателя А61/6 на большую скорость вращения. Мощность двигателя 7 кВт, напряжение 220/380В, соединение фаз Δ/Y, скорость вращения ротора 970 об/мин. синхронная скорость вращения 1000 об/мин. Число витков в фазе w = 216, число параллельных проводов $n_п$ = 2, число пазов статора z = 36, общая площадь паза 296 мм². Провод ПЭЛБО, диаметр голого провода 1,2 мм., обмотка двухслойная, шаг по пазам 1 – 6. Размеры магнитной цепи: Da = 327 мм., D = 200 мм., l = 75 мм., $h_п$ = 29 мм. (рис. 193). Требуется перемотать статор двигателя на синхронную скорость вращения 1500 об/мин., сохранив сердечник статора и короткозамкнутый ротор. Согласно формуле (9) для повышения скорости вращения надо уменьшить число полюсов:

$$2p_н = 2p_c \times (n_c / n_н) = 6 \times (1000 / 1500) = 4.$$

Определим высоту спинки статора (рис. 193):

$$hс = (Da - D / 2) - hп = (327 - 200 / 2) - 29 = 34{,}5 \text{ мм.} = 3{,}45 \text{ см.}$$

При уменьшении числа полюсов с сохранением общего магнитного потока поток на один полюс увеличится, а вместе с ним увеличатся и индукции в воздушном зазоре и в магнитной цепи двигателя. Из формулы (46) видно, что число витков в фазе обратно пропорционально магнитному потоку, т. е. увеличивая число витков, можно снизить величину потока. Зададимся наибольшей допускаемой индукцией в спинке статора В = 1,15 *Тл*. (*Тл*, (тесла) – единица измерения магнитной индукции в Международной системе единиц СИ; 1*тл* = 1 *вб* / 1 м² = 10000 *гс*.).
Определим число витков в фазе по формуле (46):

$$wн = \frac{0{,}93 \times U}{4{,}44 \times f \times kо \times Ф} = \frac{0{,}93 \times U}{4{,}44 \times f \times kо \times 2 \times hc \times l \times B} \quad (52)$$

Значение обмоточного коэффициента *k*о находим по табл. 11. Для этой обмотки укорочение шага составляет 5 / 6 = 0,83. Но в табл. 11 нет такого значения укорочения шага. Поступаем следующим образом. Определяем число пазов на полюс и фазу, которое для данной обмотки равно q = 36 / 6 × 3 = 2. Для этого числа катушек в катушечной группе находим по табл. 11 значения обмоточных коэффициентов при укорочениях шага 0,85 и 0,8. При укорочении шага 0,85 обмоточный коэффициент был бы 0,939, а при укорочении шага 0,8 – был бы 0,919. Подсчитаем, на какую величину уменьшается обмоточный коэффициент при уменьшении укорочения шага на одну сотую единицы.

$$\frac{0{,}939 - 0{,}919}{85 - 80} = \frac{0{,}02}{5} = 0{,}004$$

Вычислим, на какую величину уменьшится обмоточный коэффициент при укорочении шага 0,83 по сравнению с обмоточным коэффициентом при укорочении шага 0,85.
0,004 (85 – 83) = 0,004 × 2 = 0,008. Теперь можно определить обмоточный коэффициент обмотки при укорочении шага 0,83.

$$kо = 0{,}939 - 0{,}008 = 0{,}931.$$

$$wн = \frac{0{,}939 \times 220 \times 10^4}{4{,}44 \times 50 \times 0{,}931 \times 2 \times 3{,}45 \times 7{,}5 \times 1{,}15} = 168$$

Коэффициент 10^4 введен потому, что размеры магнитной цепи выражены в сантиметрах, а не в метрах. Число эффективных проводов в пазу:

$$Nэ = \frac{6 \times wн}{z} \quad (53) \qquad Nэ = 6 \times \frac{168}{36} = 28$$

Это число удовлетворяет требованию, чтобы в двухслойной обмотке число проводов в пазу было целое и четное. При двух параллельных проводах общее число проводов в пазу будет 28 × 2 = 56. Мощность двигателя после перемотки:

$$Pн = Pс \times \frac{nн}{nс} \quad (54)$$

$$Рн = 7 \times \frac{1500}{1000} = 10{,}5 \text{ кВт}$$

Вследствие изменения энергетических показателей при переходе на другую скорость вращения ток двигателя возрастает в меньшей степени, чем мощность. Учитывая также, что при большей скорости вращения улучшаются условия охлаждения, выбираем сечение провода на 25% больше прежнего: $s_п = s_с × 1{,}25 = 1{,}131 × 1{,}25 = 1{,}41$ мм².
В табл. 8 этому сечению соответствует ближайший диаметр голого провода 1,35 мм. При изоляции марки ПЭЛБО диаметр изолированного провода будет 1,56 мм. Полезную площадь паза при двухслойной обмотке можно приближено определить, разделив полную площадь паза на 1,3: $F_п = 296 / 1{,}3 = 228$ мм². Коэффициент заполнения паза по формуле (45):

$$k = Nd^2_{из} / F_п = 56 × 1{,}56^2 / 228 = 0{,}61.$$

Теперь можно составить обмоточные данные для перемотанного двигателя. Число пазов на полюс и фазу: $q = z / m2p = 36\ 3 × 4 = 3$, следовательно, для двухслойной обмотки придется намотать 12 катушечных групп по 3 катушки в группе. Диаметральный шаг обмотки:

$$y_z = z / 2p = 36 / 4 = 9$$

возьмем укорочение шага на два паза и получим укороченный шаг y_z =7 (1 – 8). Измеряем длину 1 витка новой обмотки по статору. (Получаем l, равное 0,56 м.) Общая длина провода

$$L = l×n×m×w_н = 0{,}56 × 2 × 3 × 168 = 565 \text{ м}.$$

По табл. 7 вес 1 км. провода диаметром 1,35 мм. составляет 12,73 кг. Следовательно, вес голого провода 12,73 × 0,565 = 7,2 кг., а с учетом веса изоляции – 7,2 × 1,02 = 7,4 кг.
Сопротивление 1 км. провода 12.01 ом (табл. 7). Сопротивление фазы обмотки:

$$0{,}565 × 12{,}01 / 4 × 3 = 0{,}565 \text{ Ом}.$$

При увеличении шага обмотки несколько удлинится вылет лобовых частей, поэтому надо проверить, уложатся ли лобовые части на статоре, не задевая подшипниковых щитов.
Перевод двигателя на другую частоту, применяют в тех случаях, когда надо значительно увеличить его скорость вращения. Для этого двигатель питают переменным током повышенной частоты. Очевидно, что скорость вращения будет расти пропорционально частоте:

$$n_н = n_с × \frac{f_н}{f_с} \quad (55)$$

Однако при этом надо сохранить прежнюю величину магнитного потока. Из формулы (46) видно, что частота тока и напряжение прямо пропорциональны, т. е. при повышении частоты для сохранения потока соответственно должно быть увеличено напряжение, подводимое к двигателю. При этом никаких перемоток не требуется. Переменный ток нестандартной частоты подают от специальных генераторов или преобразователей частоты.
В этом случае двигатель при сохранении вращающего момента будет работать с практически неизменными значениями к. п. д., cosφ и перегрузочной способности. В таком режиме работает, например, электроверетено ЭВЗ, предназначенное для прядения и кручения вискозного волокна. При работе электроверетена со скоростью 8000 об/мин. (синхронных) питающая сеть имеет частоту 133 Гц и напряжение 104 В, а при работе со скоростью 9000 об/мин. (синхронных) питающая сеть должна иметь частоту 150 Гц и напряжение 117 В. При переводе двигателей на повышенные скорости вращения необходимо проверить при помощи расчетов прочность ротора и работу подшипников.

Таблица 11. Обмоточные коэффициенты трехфазных обмоток.

Число катушек в группе	Укорочение шага обмотки								
	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
1	1	0,997	0,988	0,972	0,951	0,924	0,891	0,853	0,809
2	0,966	0,963	0,954	0,939	0,919	0,893	0,861	0,824	0,781
3	0,96	0,957	0,948	0,933	0,913	0,887	0,855	0,819	0,777
4	0,958	0,955	0,947	0,931	0,911	0,885	0.854	0,817	0,775
5	0,957	0,954	0,946	0,93	0,91	0,884	0,853	0,816	0,774

§115. Использование трехфазных асинхронных двигателей в качестве однофазных.

В практике встречаются случаи, когда требуется питать трехфазный двигатель от однофазной сети. Раньше считалось, что в этих случаях необходима перемотка статора двигателя. В настоящее время разработано и испытано на практике много схем включения трехфазных двигателей с конденсатором в однофазную сеть без изменения обмотки статора. Большую часть трехфазных двигателей выпускают на два напряжения с шестью выводами от обмотки статора. Однако встречаются двигатели на одно напряжение, у которых обмотка статора соединена в звезду или треугольник внутри двигателя и наружу выведены только три вывода для включения в трехфазную сеть. Конечно, можно было бы в этом случае разобрать двигатель, разъединить межфазовые соединения и сделать три дополнительных вывода. Однако можно этого и не делать, использовав одну из приводимых ниже схем включения двигателя в однофазную сеть. Принципиальная схема включения трехфазного двигателя с шестью выводами в однофазную сеть показана на рис. 194*а*.

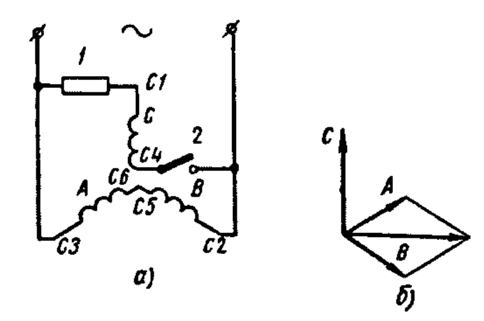


Рис. 194. Включение трехфазного двигателя в однофазную цепь, *а* – схема включения, *б* – сдвиг между рабочей и пусковой обмотками.

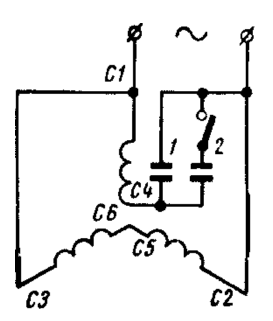


Рис. 195. Включение трехфазного двигателя в однофазную цепь с двумя конденсаторами.

Для этого две фазы соединяют последовательно и подключают их к однофазной сети, а третью фазу присоединяют к сети через пусковой элемент 1 с выключателем 2. В качестве пускового элемента может служить активное сопротивление или конденсатор. При этом рабочая обмотка будет занимать ⅔ пазов статора, а пусковая ⅓ пазов. Таким образом, трехфазная обмотка обеспечивает требуемое соотношение чисел пазов между рабочей и пусковой обмотками. При таком соединении угол между рабочей и пусковой обмотками составит 90°, как видно на рис. 193*б*. При соединении двух фаз последовательно надо следить за тем, чтобы они были включены согласно, а не встречно, т. е. конец второй фазы С5 должен быть соединен с концом третьей фазы С6.
Трехфазный двигатель можно использовать и в качестве конденсаторного, если включить его по схеме, показанной на рис. 195 с одним рабочим конденсатором 1 или с рабочим 1 и пусковым 2 конденсаторами.

При такой схеме включения емкость рабочего конденсатора можно определить по формуле:

$$C_1 = 2740 \times \frac{I}{U} \text{ мкф.} \quad (56)$$

где I – номинальный ток двигателя, а; U – напряжение сети, В. Конденсатор должен быть выбран на напряжение U_1 = 1,3 U В. Трехфазный двигатель с тремя выводами и обмоткой статора, соединенной в звезду, подключают к однофазной сети по схеме, изображенной на рис. 196. При этом емкость рабочего конденсатора определяют по формуле:

$$C_1 = 2800 \times \frac{I}{U} \text{ мкф.} \quad (57)$$

Напряжение конденсатора C_1 = 1,3 U В. Трехфазный двигатель с тремя выводами и обмоткой статора, соединенной в треугольник, подключают к однофазной сети по схеме, показанной на рис. 197. Емкость рабочего конденсатора определяют по формуле:

$$C_1 = 4800 \times \frac{I}{U} \text{ мкф.} \quad (58)$$

Напряжение конденсатора C_1 = 1,15 × U В.

Во всех трех случаях емкости пусковых конденсаторов можно примерно определить из соотношения:

$$C_2 = 2{,}5 \pm 3 \times C_1 \text{ мкф.} \quad (59)$$

При выборе схемы включения следует руководствоваться напряжением, на которое рассчитан трехфазный двигатель, и напряжением однофазной сети. При этом фазное напряжение трехфазного двигателя должно сохраниться при включении в однофазную сеть.

Пример. Трехфазный двигатель мощностью 250 Вт, напряжением 127/220 В с номинальным током 2/1,15 а надо включить в однофазную сеть напряжением 220 В. При использовании схемы, изображенной на рис. 196, емкость рабочего конденсатора:

$$C_1 = 2800 \times (1{,}15 / 220) = 14{,}6 \text{ мкф.}$$

Напряжение на конденсаторе U_1 = 1,3 × 220 = 286 В. Емкость пускового конденсатора:

$$C_1 = (2{,}5 \pm 3) \times 14{,}6 = 36 \div 44 \text{ мкф.}$$

При использовании трехфазного двигателя в качестве однофазного мощность его снижается до 50%, а при конденсаторном однофазном двигателе – до 70% номинальной мощности трехфазного двигателя.

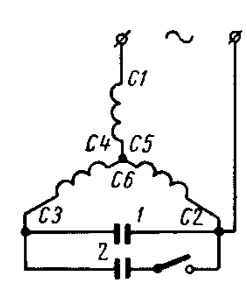


Рис. 196. Включение трехфазного двигателя с обмоткой, соединенной в звезду, в однофазную сеть.

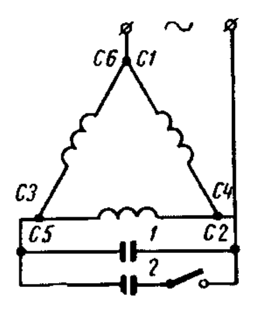


Рис. 197. Включение трехфазного двигателя с обмоткой, соединенной в треугольник, в однофазную сеть.

В конденсаторных двигателях конденсатор после отключения сохраняет напряжение на своих зажимах в течение длительного времени. Опасность поражения электрическим током при прикосновении к заряженному конденсатору тем больше, чем выше напряжение и больше его емкость. Так, например, у электродвигателя АОЛД напряжением 220 В при емкости рабочего конденсатора 3 мкф напряжение на зажимах конденсатора может достигнуть 500 В. При обслуживании конденсаторных двигателей необходимо соблюдать следующие правила техники безопасности:
1. Оградить металлической сеткой батарею конденсаторов во избежание случайного прикосновения.
2. Батарею конденсаторов расположить так, чтобы к ней был удобный доступ, и она не смещалась при вибрациях.
3. Заменять плавкие вставки предохранителя только при разомкнутом рубильнике в цепи отключаемого конденсатора.
4. После выключения двигателя всегда замыкать цепь с отключенным конденсатором, подготовляя этим схему к очередному пуску.
5. При производстве ремонтных работ и испытаний после каждого отключения конденсатора разряжать его при помощи разрядного сопротивления в виде нескольких электрических ламп, соединенных последовательно.

§116. Переделка машин постоянного тока.

Переделка технических данных у машин постоянного тока производится значительно реже, чем у асинхронных двигателей. Это объясняется, с одной стороны, ограниченным применением машин постоянного тока, с другой стороны, более сложными условиями их работы. Часто машина после перемотки перестает надежно работать вследствие недопустимого нагрева коллектора или сильного искрения под щетками. Переделывать машины постоянного тока приходится редко еще и потому, что эти машины и при старых обмотках могут работать в различных режимах благодаря регулировке. Рассмотрим несколько примеров переделки машин постоянного тока.
При необходимости уменьшить напряжение генератора не требуется менять обмотки. Для этого достаточно уменьшить в соответствующее число раз скорость вращения генератора, и он будет давать пониженное напряжение. Обмотки возбуждения при этом нужно соединить в несколько параллельных ветвей в зависимости от требуемого снижения напряжения. Например, четырехполюсный генератор напряжением 460 В можно превратить в генератор напряжением 230 В, если вращать его якорь с половинной скоростью, а катушки полюсов, которые были соединены последовательно, переключить на две параллельные группы. При этом ток якоря сохранится прежним, а мощность машины уменьшится вдвое. Для получения удвоенного напряжения достаточно два генератора соединить между собой последовательно.

Если же необходимо при измененном напряжении получать от машины прежнюю мощность, то следует перемотать обмотку якоря, а иногда и обмотку возбуждения. Так, например, для снижения напряжения в два раза нужно уменьшить число витков в обмотке якоря. Для этого его надо перемотать, использовав тот же провод, сложенный вдвое. Тогда ток якоря увеличится вдвое и машина будет при пониженном напряжении отдавать ту же мощность. Катушки полюсов при этом пересоединяют в две параллельные группы. Переделку двигателей на пониженное напряжение выполняют так же, как и переделку генераторов. Однако при этом могут быть трудности с коллектором. С увеличением тока якоря возрастает плотность тока под щетками. Если нет запасной длины коллектора, чтобы добавить хотя бы по одной щетке на каждом пальце, то приходится увеличивать толщину щеток.

При этом увеличивается число пластин коллектора, перекрываемых щеткой, и может недопустимо усилиться искрение.
Коллектор будет сильно нагреваться, так как при увеличении тока якоря потери на коллекторе увеличились, а охлаждаемая поверхность осталась прежней.
Для увеличения напряжения нужно соответственно увеличить число последовательно соединенных проводов в обмотке якоря, уменьшив их сечение. Но число коллекторных пластин осталось прежним, следовательно, надо увеличить число витков в секции. При этом возрастет напряжение между соседними коллекторными пластинами коллектора и может возникнуть сильное искрение под щетками. Полюсные катушки следует намотать заново из более тонкого провода. Из приведенных примеров видно, что переделка машин постоянного тока связана со многими трудностями и не всегда дает нужные результаты. Обычно она удается у машин старых типов с малыми нагрузками и большими запасами места в пазах и на коллекторе.
Скорость вращения двигателей постоянного тока можно изменить только путем изменения числа последовательно соединенных проводов в обмотке якоря. Число проводов обратно пропорционально скорости вращения. Если напряжение двигателя при этом не изменяется, то катушки возбуждения могут оставаться без изменения. Изменение числа проводов в обмотке якоря связано с теми же трудностями, что и изменение напряжения. Эти трудности возрастают с увеличением мощности и напряжения машин. Поэтому крупные машины постоянного тока без подробных поверочных расчетов переделывать не рекомендуется.

Контрольные вопросы.
1. Как подобрать диаметр провода при замене одного провода двумя параллельными?
2. От чего зависит толщина изоляции обмоточного провода?
3. Как расшифровываются обозначения марок проводов?
4. В каких случаях при замене медных проводов алюминиевыми мощность двигателя сохраняется прежней?
5. Какие достоинства и недостатки имеют алюминиевые провода по сравнению с медными?
6. В каком порядке производится пересчет обмотки с одного напряжения на другое?
7. Какие параметры двигателя изменяются при пересчете на другую скорость вращения?
8. Что такое обмоточный коэффициент и как его рассчитать?
9. Как можно использовать трехфазный двигатель в качестве однофазного?
10. Какие переделки машин постоянного тока можно выполнить?

Литература

Бабенко Д. А., Тепленко С. И., Чибишев Л. Д. "В помощь электрику – обмотчику асинхронных двигателей", М., Издателство "Энергия", 1965.
Кокорев А. С, Наумов И. Н. "Справочник молодого обмотчика электрических машин", М., Издательство "Высшая школа", 1964.
"Обмоточные данные асинхронных двигателей". Под ред. П. И. Цибулевского. М., Издательство "Энергия", 1966.
Рубо Л. Г. "Пересчет и ремонт асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт" М., "Госэнергоиздат", 1961.
Торопцев Н. Д. "Применение трехфазного двигателя в схеме однофазного включения с конденсатором", М., "Госэнергоиздат", 1963.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение. 2
Глава I. Изоляция обмоток. 3
§1. Основные виды обмоток. 3
§2. Междувитковая и корпусная изоляция. 4
§3. Резание изоляционных материалов. 5
§4. Изолировка пазов. 8
§5. Техника безопасности в обмоточных цехах. 9
Глава II. Катушки из круглого провода. 11
§6. Мягкие катушки статора. 11
§7. Мягкие катушки якоря. 15
Глава III. Катушки из прямоугольного провода. 18
§8. Жесткие катушки статора. 18
§9. Жесткие катушки ротора. 24
§10. Жесткие катушки якоря. 25
Глава IV. Стержни обмоток. 27
§11. Стержни обмотки статора. 27
§12. Стержни обмотки ротора. 32
§13. Стержни обмотки якоря. 34
Глава V. Полюсные катушки. 37
§14. Типы полюсных катушек. 37
§15. Катушки из изолированных проводов. 37
§16. Шинные катушки, намотанные плашмя. 41
§17. Шинные катушки, намотанные на ребро. 43
Глава VI. Чертежи и схемы обмоток. 46
§18. Общие сведения о чертежах. 46
§19. Чертежи обмоток. 47
§20. Схемы обмоток. 51
Глава VII. Однослойные трехфазные обмотки статора и ротора. 55
§21. Типы однослойных обмоток. 55
§22. Схемы концентрических трехфазных обмоток. 55
§23. Соединение катушечных групп в фазах. 58
§24. Составление схем концентрических обмоток. 60
§25. Схемы равнокатушечных однослойных трехфазных обмоток. 61
§26. Укладка в пазы концентрических обмоток. 63
§27. Обмоточные станки для статоров. 65
Глава VIII. Двухслойные трехфазные обмотки статора. 68
§28. Типы двухслойных обмоток. 68
§29. Диаметральный и укороченный шаг обмотки. 68
§30. Схемы двухслойных трехфазных обмоток. 69
§31. Составление схем двухслойных трехфазных обмоток. 72
§32. Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу. 74
§33. Упрощенные схемы соединений и таблицы обмоток. 77
§34. Схемы обмоток многоскоростных двигателей. 80
§35. Укладка в пазы всыпных обмоток. 83
§36. Укладка обмоток статора в открытые пазы. 84
Глава IX. Типы однофазных двигателей. 87
§37. Принцип действия асинхронного однофазного двигателя. 87
§38. Двигатели с короткозамкнутым витком на полюсе. 89
§39. Двигатели с пусковыми обмотками. 90
§40. Двигатели с пусковыми сопротивлениями и конденсаторами. 91

§41. Конденсаторные двигатели. 92
§42. Конструкция однофазного асинхронного двигателя. 94
§43. Синхронные однофазные двигатели. 95
Глава X. Обмотки однофазных двигателей. 96
§44. Обмотки двигателей с короткозамкнутым витком на полюсе. 96
§45. Обмотки двигателей с пусковыми элементами. 97
§46. Обмотки с встроенным сопротивлением. 100
§47. Обмотки конденсаторных двигателей. 101
§48. Составление схем обмоток однофазных двигателей. 102
Глава XI. Стержневые обмотки ротора. 105
§49. Элементы стержневой обмотки. 105
§50. Расположение перемычек и выводов фаз. 107
§51. Обмотки с удлиненными и укороченными переходами. 109
§52. Конструкции перемычек. 110
§53. Обмотка с дробным числом пазов на полюс и фазу. 111
§54. Роторные обмотки с параллельными ветвями. 112
§55. Обмоточные таблицы. 113
§56. Торцовые схемы обмоток ротора. 113
§57. Укладка обмотки в пазы. 116
§58. Короткозамкнутые обмотки ротора. 117
Глава XII. Обмотки якоря. 119
§59. Основные сведения. 119
§60. Простая петлевая обмотка. 121
§61. Сложно – петлевая обмотка. 122
§62. Простая волновая обмотка. 123
§63. Таблицы якорных обмоток. 125
§64. Волновые обмотки с "мертвыми" секциями. 126
§65. Сложно – волновая обмотка. 127
§66. Уравнительные соединения. 128
§67. Ступенчатые обмотки. 131
§68. "Лягушечьи" обмотки 133
§69. Симметрия обмоток. 135
§70. Разметка якоря под обмотку. 136
§71. Устройство коллекторов. 139
§72. Укладка обмоток в пазы. 143
§73. Ручные обмотки якоря. 145
§74. Обмоточные станки для якорей. 146
§75. Новые виды обмоток якоря. 148
§76. Обмотки коллекторных двигателей переменного тока. 150
Глава XIII. Паяние и сварка соединений в обмотках. 152
§77. Мягкие и твердые припои. 152
§78. Флюсы. 153
§79. Паяльники. 153
§80. Паяние коллекторов мягкими припоями. 156
§81. Паяние твердыми припоями. 156
§82. Сварка соединений в обмотках. 158
§83. Лужение. 158

Глава XIV. Пропитка обмоток. 159
§84. Назначение пропитки. 159
§85. Процессы сушки, пропитки и лакировки. 160

§86. Оборудование для пропитки и сушки. 162
§87. Компаундирование обмоток. 164
§88. Противопожарные мероприятия в сушильно – пропиточных цехах. 166
Глава XV. Крепление обмоток якорей и роторов. 166
§89. Назначение бандажей и пазовых клиньев. 166
§90. Бандажировочные станки. 167
§91. Намотка проволочных бандажей. 168
§92. Расчет бандажей. 170
§93. Бандажи из стеклоленты. 171
§94. Крепление обмоток в пазах клиньями. 172
Глава XVI. Контроль и испытание обмоток. 174
§95. Виды контроля и испытаний. 174
§96. Контроль размеров обмоток. 175
§97. Измерение сопротивления обмоток. 175
§98. Измерение сопротивления изоляции. 176
§99. Контрольные аппараты СМ и ЕЛ. 177
§100. Контроль обмоток машин переменного тока. 178
§101. Контроль обмоток якорей. 179
§102. Контроль полюсных катушек. 180
§103. Испытание электрической прочности междувитковой изоляции. 181
§104. Испытание электрической прочности корпусной изоляции. 181
Глава XVII. Ремонт обмоток. 182
§105. Виды ремонтов обмоток. 182
§106. Подготовка к ремонту обмоток. 184
§107. Ремонт всыпных обмоток статора. 185
§108. Ремонт обмоток статора из жестких катушек. 188
§109. Ремонт обмоток ротора. 189
§110. Ремонт обмоток якоря. 191
§111. Ремонт полюсных катушек. 196
Глава XVIII. Пересчеты обмоток при ремонте. 198
§112. Замена диаметра обмоточного провода. 198
§113. Замена медных проводов алюминиевыми. 199
§114. Пересчет обмоток асинхронных двигателей. 204
§115. Использование трехфазных асинхронных двигателей в качестве однофазных. 209
§116. Переделка машин постоянного тока. 211
Литература. 212